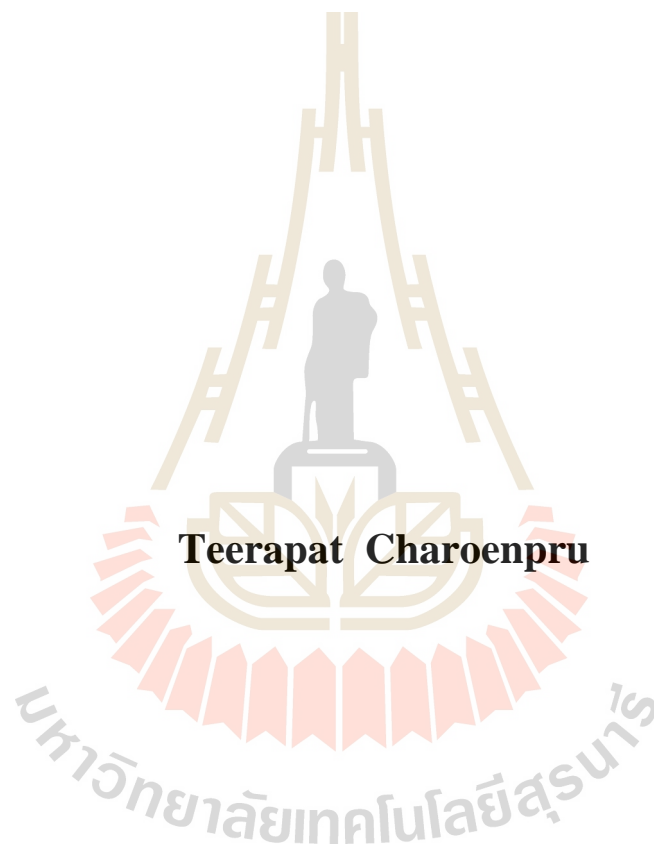


การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้พีซีลอจิกสำหรับ
ระบบการชลประทานในไร่นาลำปะหลัง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF FUZZY LOGIC
BASED WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR
IRRIGATION SYSTEM IN CASSAVA FIELD**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electronic Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟิสิกส์ลอจิก
สำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง

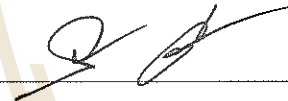
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ร.อ. ดร.ประ โยชน์ คำสวัสดิ์)

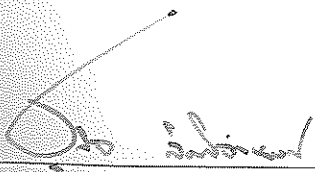
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ. ดร.สุกิจ ลิ้มปิ๋จันงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ธีระภัทร เจริญปรี : การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟัซซีลอจิก
สำหรับระบบการชลประทานในไร่มันสำปะหลัง (DESIGN AND DEVELOPMENT OF
FUZZY LOGIC BASED WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR IRRIGATION
SYSTEM IN CASSAVA FIELD) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก
ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์, 115 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและตัว
ควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสำหรับการให้น้ำในระบบน้ำหยดแก่ไร่มันสำปะหลัง เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้
สายที่ออกแบบขึ้นใช้ระบบสมองกลฝังตัวสมรรถนะสูง ARM 32-bits Cortex M3 ในการควบคุม
ระบบโดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในบริเวณแปลงเพาะปลูก
เช่น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าศักย์ของน้ำในดิน และค่าความชื้นในดิน จากนั้นจะส่งค่าการ
ตรวจวัดผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการประมวลผลการรดน้ำ
ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีที่ใช้กลไกการอนุมานของ Mamdani โดยใช้ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการ
สร้างกฎพื้นฐานของฟัซซีเพื่อให้ได้ระยะเวลาของการให้น้ำที่เหมาะสมกับมันสำปะหลัง ผู้วิจัยได้
ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทั้งในห้องปฏิบัติการด้วยการจำลองการทำงานและทดสอบ
จริงในแปลงทดลองการปลูกมันสำปะหลังของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลจาก
ทดสอบการใช้งานในเบื้องต้นพบว่า ระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตาม
วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

TEERAPAT CHAROENPRU: DESIGN AND DEVELOPMENT OF FUZZY
LOGIC BASED WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR IRRIGATION
SYSTEM IN CASSAVA FIELD. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. FLT. LT.
PRAYOTH KUMSAWAT, Ph.D., 115 PP.

EMBEDDED SYSTEM/WIRELESS SENSOR NETWORKS/FUZZY LOGIC

This thesis presents design and development of wireless sensor network and fuzzy logic controller for drip irrigation system. The proposed wireless sensor network mainly used the high performance ARM 32-bits Cortex M3 embedded system for control various sensors modules. Different types of sensors, which are significant for growing of plant, were installed at the router node in the farm of cassava including: relative humidity, soil water potential sensors and soil moisture sensors. These sensors sense the climate variables and wirelessly transmit the data to the coordinator node for fuzzy logic based irrigation control system. The climatic variables were inserted into that system by sets of trapezoidal form and a Mamdani-type fuzzy inference mechanism in which the knowledge of an expert is registered through the fuzzy rules. Then, a fuzzy system evaluates the necessary duration of irrigation. The effectiveness of the fuzzy logic based irrigation control system has been verified through experiments both in laboratory and cassava field. The experimental results show that the system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria.

School of Electronic Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature Teerapat Charoenpru

Advisor's Signature P. Kumsawat

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รวมถึงบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เมตตาให้ทุนการศึกษา อบรม สั่งสอน ชี้นำช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำการศึกษาวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล และรองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์แก่ผู้วิจัยรวมถึงให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางในการพัฒนาและต่อยอดงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชล วัณประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตพร มิชิโกวา อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ยังต่องานวิจัยนี้รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนสนับสนุนทางการศึกษาและให้กำลังใจอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณพี่นภาพร พิมปรุ และพี่เกริกฤทธิ์ ศรีเคน ที่ให้การสนับสนุนทางเทคนิค และให้คำปรึกษาในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ธีระภัทร เจริญปรุ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN).....	6
2.2.1 องค์ประกอบของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	8
2.2.2 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์.....	9
2.2.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	10
2.2.4 มาตรฐานระบบเครือข่าย.....	11
2.2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	12
2.3 เทคโนโลยีไร้สาย Zigbee.....	13
2.3.1 โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee.....	15
2.3.2 การทำงานของ Zigbee.....	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 Simulink และ Real-time Workshop	18
2.5 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic).....	21
2.6 วิธีการให้น้ำแก้มันสำปะหลัง	22
2.7 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)	24
2.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	26
2.8.1 บอร์ด STM32F4 DiscoveryWaijung	26
2.8.2 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน Soil Moisture Sensor	29
2.8.3 เซ็นเซอร์วัดศักย์ของน้ำในดิน Watermark	30
2.8.4 เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์	31
2.8.5 บอร์ด NodeMCU	32
2.8.6 TP-LINK TL-MR3230 Wi-Fi Pocket Router	33
2.8.7 Huawei E303 850/2100Mhz 7.2Mbps Aircard.....	34
2.8.8 วาล์วไฟฟ้า.....	35
2.9 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
2.10 สรุป.....	39
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	40
3.1 บทนำ	40
3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์	41
3.2.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	41
3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	44
3.2.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ไมโครคอมพิวเตอร์.....	53
3.2.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์ไมโครคิปโซลินอยด์วาล์ว.....	56
3.3 การออกแบบทางซอฟต์แวร์	58
3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	59
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ไมโครคอมพิวเตอร์.....	62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดขับโซลินอยด์แล้ว	64
3.3.4 การออกแบบตัวควบคุมการให้น้ำแก่ไรมันสำปะหลังด้วยพีซีลอจิก	67
3.3.5 การออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับเปิด-ปิดน้ำด้วยสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต	72
3.4 สรุป	79
4. ผลการวิจัย	80
4.1 บทนำ	80
4.2 การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์	80
4.3 การทดสอบชุดขับโซลินอยด์แล้ว	83
4.4 การทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยพีซีลอจิก	84
4.4.1 การจำลองการทำงานของพีซีลอจิกด้วยโปรแกรม Matlab Simulink	84
4.4.2 การทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลอง	93
4.5 การคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งาน	98
4.5.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบน้ำหยดของโครงการวิจัย	98
4.5.2 การคำนวณปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า	98
4.5.3 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังโดยวิธีการทางสถิติ	100
4.6 สรุป	102
5.1 สรุปผลงานวิจัย	103
5.1.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	103
5.1.2 การออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	104
5.1.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ	104
5.2 แนวทางการวิจัยพัฒนาต่อไปในอนาคต	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อดินแต่ละชนิด24
2.2	ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟิชชีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง36
3.1	เงื่อนไขพื้นฐานของฟิชชี71
3.2	เงื่อนไขพื้นฐานของฟิชชี75
4.1	ผลการทดสอบโหนดขับโซลินอยด์แล้ว83
4.2	ผลการทดลองให้น้ำแก่แปลงปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบฟิชชี97
4.3	ค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าในแปลงทดลอง 99
4.4	อัตราการใช้น้ำในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆ100
4.5	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงอายุ101
4.6	การใช้น้ำของฟิชชีอ้างอิงของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา101

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

2. 1 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	Error! Bookmark not defined.
2. 2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	Error! Bookmark not defined.
2. 3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee.....	Error! Bookmark not defined.
2. 4 เครือข่ายแบบสตาร์.....	Error! Bookmark not defined.
2. 5 เครือข่ายแบบต้นไม้.....	Error! Bookmark not defined.
2. 6 เครือข่ายแบบเมช.....	Error! Bookmark not defined.
2. 7 Device configuration.....	Error! Bookmark not defined.
2. 8 Hardware modules	19
2. 9 On-chip peripherals.....	Error! Bookmark not defined.
2. 10 แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ.....	Error! Bookmark not defined.
2. 11 ระบบน้ำหยดในโรงมันสำปะหลัง.....	Error! Bookmark not defined.
2. 12 ท่อสูบน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	Error! Bookmark not defined.
2. 13 ระบบสมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Mohsen Nasri, 2010).....	Error! Bookmark not defined.
2. 14 ชุดทดลอง STM32F4 Discovery (www.st.com).....	Error! Bookmark not defined.
2. 15 บอร์ดทดลอง STM32F4 Discovery (www.st.com)	Error! Bookmark not defined.
2. 16 aMG F4Connect without STM32F4DISCOVERY (www.aimagin.com)	29
2. 17 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 (www.decagon.com) ...	Error! Bookmark not defined.
2. 18 เซ็นเซอร์วัดศักยภาพของน้ำในดิน Watermark (www.mmm-tech.de).....	Error! Bookmark not defined.
2. 19 aMG Sense - Humidity / Temperature (www.aimagin.com).....	Error! Bookmark not defined.

2. 20 NodeMCU (www.amazon.com) **Error! Bookmark not defined.**
2. 21 TP-LINK TL-MR3230 Wi-Fi Pocket Router (www.tp-link.com) **Error! Bookmark not defined.**
2. 22 Huawei E303 850/2100Mhz 7.2 Mbps Aircard (www.4gaircard.com)..... **Error! Bookmark not defined.**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

2. 23 (ก) วาล์วไฟฟ้า Hunter PGV203 (ข) ภาพตัดของวาล์วไฟฟ้า Hunter PGV203
(www.hunterindustries.com)..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 1 การทำงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้น **Error! Bookmark not defined.**
3. 2 การเชื่อมโยงโหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบเมชที่ออกแบบขึ้น..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 3 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นโหนดโคออดิเนเตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU **Error! Bookmark not defined.**
3. 4 การตั้งค่า Xbee ให้เป็นเราต์เตอร์ด้วยโปรแกรม X-CTU..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 5 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเราต์เตอร์แบบที่ 1..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 6 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเราต์เตอร์แบบที่ 2..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 7 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery **Error! Bookmark not defined.**
3. 8 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery **Error! Bookmark not defined.**
3. 9 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในอากาศกับบอร์ด STM32F4 Discovery **Error! Bookmark not defined.**

3. 10 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเร้าเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 11 การติดตั้งโหนดเร้าเตอร์..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 12 การติดตั้งเซ็นเซอร์ของโหนดเร้าเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 13 โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 14 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 15 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์..... **Error! Bookmark not defined.**
3. 16 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเร้าเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 17 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดขับโซลินอยด์วาล์ว **Error! Bookmark not defined.**
3. 18 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเร้าเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 19 การทำงานของโปรแกรมโหนดเร้าเตอร์60
3. 20 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แบบแอนะล็อก **Error! Bookmark not defined.**
3. 21 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แบบดิจิตอล **Error! Bookmark not defined.**
3. 22 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ผ่านโมดูล Xbee **Error! Bookmark not defined.**
3. 23 การทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ **Error! Bookmark not defined.**
3. 24 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมรับค่าเซ็นเซอร์จากโมดูล Xbee **Error! Bookmark not defined.**

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

3. 25 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมสั่งงานโมดูลรีเลย์เพื่อการเปิด-ปิดปั้มน้ำ **Error! Bookmark not defined.**
3. 26 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมส่งคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วน้ำไปยังโหนดขับโซลินอยด์วาล์ว **Error! Bookmark not defined.**
3. 27 การทำงานของโปรแกรมชุดขับโซลินอยด์วาล์ว **Error! Bookmark not defined.**

3. 28 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมรับคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วน้ำจากโมดูล Xbee **Error! Bookmark not defined.**

3. 29 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมส่งงานโมดูลรีเลย์เพื่อการเปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว **Error! Bookmark not defined.**

3. 30 การออกแบบตัวควบคุมด้วยพีซีโดยโปรแกรม Matlab Simulink **Error! Bookmark not defined.**

3. 31 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของอินพุตที่ 1 **Error! Bookmark not defined.**

3. 32 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของอินพุตที่ 270

3. 33 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของเอาต์พุต **Error! Bookmark not defined.**

3. 34 การกำหนดเงื่อนไขพื้นฐานของพีซีลอจิก. **Error! Bookmark not defined.**

3. 35 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของอินพุตที่ 1 **Error! Bookmark not defined.**

3. 36 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของอินพุตที่ 2 **Error! Bookmark not defined.**

3. 37 การออกแบบความเป็นสมาชิกฟังก์ชันของเอาต์พุต **Error! Bookmark not defined.**

3. 38 การกำหนดเงื่อนไขพื้นฐานของพีซี **Error! Bookmark not defined.**

3. 39 การพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้ MIT App inventor **Error! Bookmark not defined.**

3. 40 การทำงานของแอปพลิเคชันร่วมกับโหนดไมโครคอนโทรลเลอร์ **Error! Bookmark not defined.**

3. 41 หน้าจอของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น **Error! Bookmark not defined.**

No table of figures entries found.



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบัน สินค้าเกษตรในตลาดโลกมีการแข่งขันมากขึ้น ทำให้ประเทศไทยต้องยกระดับประสิทธิภาพการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันกับภายนอกได้ ซึ่งแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการพัฒนาชลประทาน การชลประทาน (Irrigation) หมายถึงการให้น้ำในขนาดที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งน้ำจะถูกบรรจุลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช โดยอาจรวมถึงการเก็บกักและการทดน้ำเป็นต้น วัตถุประสงค์ของการชลประทานนั้นก็เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช เพื่อเป็นหลักประกันว่าพืชจะไม่ขาดน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อให้ดินอ่อนนุ่มสะดวกต่อการเตรียมดินและรากสามารถขยายตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้การชลประทานยังทำให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้หลายครั้งต่อปีอีกด้วย

ในประเทศไทย ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีอาชีพทางการเกษตรและเกษตรต่อเนื่อง โดยจากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร [1] รายงานว่าในปี 2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ 320.6 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรประมาณ 132.7 ล้านไร่ และมีแนวโน้มว่าจะขยายตัวเพิ่มขึ้น (พื้นที่การเกษตรมีความต้องการใช้น้ำสูง) แต่ทว่าปัจจุบันมีพื้นที่ชลประทานที่สนับสนุนภาคการเกษตร ได้ 29.3 ล้านไร่ ส่วนพื้นที่การเกษตรที่เหลือจะต้องพึ่งแต่น้ำฝนตามธรรมชาติซึ่งมีความไม่แน่นอน ส่งผลให้ฐานรายได้ภาคการเกษตรมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย และจากสภาพการกระจายตัวของน้ำฝนและน้ำท่าที่ไม่สม่ำเสมอตลอดปี ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาอุทกภัยและปัญหาการขาดแคลนนํ้ารุนแรงขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจะต้องมีการพัฒนาระบบชลประทานเพื่อการเก็บกักและจะต้องมีการใช้งานระบบชลประทานหรือมีวิธีการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ นักวิเคราะห์ของ UNESCO [2] ยังได้กล่าวว่า “โลกอีก 50 ปีข้างหน้า จะประสบปัญหาวิกฤตการณ์การขาดแคลนนํ้าอย่างรุนแรง สาเหตุเนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรโลกและขาดแคลนการแก้ไขปัญหาระบบและมีความมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง” แนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้คือ การใช้ระบบชลประทานที่สามารถควบคุมการใช้น้ำภาคการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตร

เนื่องจากในปัจจุบัน เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญรุดหน้าไปมาก การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเฝ้าติดตาม การบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบที่เรียกว่า ระบบฟาร์มอัจฉริยะ (Smart farm system) เป็นกุญแจสำคัญดอกหนึ่งของการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อช่วยให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงและใช้งานเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบฟาร์มอัจฉริยะซึ่งได้รับการขนานนามว่าเป็นเกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision agriculture) [3] โดยเป็นระบบที่หลอมรวมเอาเทคโนโลยีด้าน อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม มาผสมผสานให้เกิดการประยุกต์ใช้งาน เช่น เทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยความถี่คลื่นวิทยุ (RFID) เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Wireless communication) เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer network) เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligent) และเทคโนโลยีตัวเซ็นเซอร์ (Sensor technology) เครือข่ายเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในฟาร์มเกษตรโดยทั่วไปจะเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) โดยมีการเชื่อมต่อหลาย ๆ โหนดเข้าด้วยกันให้เป็นลักษณะของเครือข่าย (network) ตามโครงสร้างของเครือข่าย (Topology network) ที่ได้กำหนดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบหลักของโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายคือ ตัวเซ็นเซอร์ (Sensors) อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย โมโครคอนโทรลเลอร์และแบตเตอรี่ขนาดเล็ก โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้จากโหนดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ จะถูกรวบรวมโดยสถานีฐาน (Base station หรือ Sink node) จากนั้นสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางการควบคุม (Control center) โดยผ่านเครือข่ายสื่อสาร เช่น เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐานหรือเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ การพัฒนาระบบชลประทานอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตร โดยผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ ซึ่งเครือข่ายเซ็นเซอร์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถส่งข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกันเข้าสู่ศูนย์กลางการควบคุมผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สายโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ (Solar cell) นอกจากนี้ยังสามารถรายงานตำแหน่งหรือพิกัดของการติดตั้งเซ็นเซอร์โดยใช้แผนที่แบบอิเล็กทรอนิกส์หรือจีพีเอส (Global positioning system; GPS) และแผนที่กูเกิล (Google map) โดยที่เกษตรกรผู้ใช้งานจะสามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ระบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารและการจัดการฟาร์มเกษตรกรรมในรูปแบบของระบบฟาร์มอัจฉริยะ ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน

การใช้ทรัพยากรน้ำให้เป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช จึงสามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตและช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำได้

ในการพัฒนาระบบชลประทานอัตโนมัติสำหรับการใช้น้ำในภาคการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับผลผลิตทางการเกษตรนั้น ระบบจะต้องมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์กลางการควบคุม ในการวิเคราะห์และคำนวณอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับแปลงเกษตร อัตราการให้น้ำที่มากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียสิ้นเปลืองโดยพืชไม่สามารถนำเอาน้ำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ อัตราการให้น้ำที่น้อยเกินไปทำให้พืชรับน้ำไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้ พารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการให้น้ำประกอบไปด้วยค่าสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตร สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช รูปแบบการวางท่อน้ำหยด คุณลักษณะของดิน คุณลักษณะการเจริญเติบโตของรากพืช เป็นต้น ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ถือเป็นข้อมูลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน จำเป็นต้องมีการใช้ข้อมูลเชิงวิจัยและเชิงเทคนิค ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ใช้งาน แผนงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการนำเอาเทคนิควิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic) มาใช้ในการวิเคราะห์หาแบบจำลองการให้น้ำจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ได้อัตราการให้น้ำที่เหมาะสมกับแปลงเกษตรในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ โดยมีระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำให้ได้อย่างถูกต้องตามอัตราที่ประมาณค่าได้ นอกจากนี้ระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติดังกล่าวยังสามารถใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศปัจจุบันในพื้นที่เพาะปลูกจริง เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity) ความชื้นในดิน (Soil moisture) ซึ่งจะได้จากการตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในแปลงเกษตรมาประกอบการตัดสินใจในการควบคุมการจ่ายน้ำให้ได้อย่างถูกต้องตามสภาพภูมิอากาศของพื้นที่แปลงเกษตรขณะนั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุมระบบ

1.2.2 เพื่อดำเนินการออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

1.2.3 เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติที่ใช้ข้อมูลจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจริงมาประกอบการตัดสินใจในการให้น้ำ

1.2.4 เพื่อสร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และสามารถตรวจสอบค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.2.5 เพื่อสร้างชุดต้นแบบระบบควบคุมการให้น้ำสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการออกแบบโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามมาตรฐานโปรโตคอล Zigbee/IEEE 802.15.4

1.3.2 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นสามารถทำการวิเคราะห์และวินิจฉัยข้อมูลจากเซ็นเซอร์และควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัว

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ทำการวัดค่าสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตรกรรมตลอด 24 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 5 นาที

1.4.2 การเชื่อมโยงเครือข่ายที่ใช้งานเป็นแบบเมช (Mesh)

1.4.3 เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่ามีทั้งหมด 3 ชนิด คือ เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เซ็นเซอร์วัดศักย์ของน้ำในดิน และเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีการส่งน้ำในระบบชลประทาน

1.5.2 ออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม

1.5.3 ดำเนินการออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชใช้ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.5.4 สร้างชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

1.5.5 ดำเนินการทดสอบและพัฒนาชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.5.6 ดำเนินการทดสอบและพัฒนาชุดต้นแบบระบบควบคุมการให้น้ำแก่พืชสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.5.7 ติดตั้งระบบควบคุมการให้น้ำในแปลงทดลองการปลูกมันสำปะหลัง

1.5.8 เก็บข้อมูลในไร่มันสำปะหลัง วิเคราะห์ข้อมูลและยืนยันความถูกต้องของข้อมูล

1.5.9 ทดสอบและพัฒนาโปรแกรมคำนวณการให้น้ำ

1.5.10 จัดทำบทความตีพิมพ์และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้องค์ความรู้ในการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.6.2 ได้ชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

1.6.3 ได้ชุดต้นแบบระบบควบคุมการให้น้ำสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ

1.6.4 ได้บทความเผยแพร่ในวารสารหรือการประชุมวิชาการระดับชาติและ/หรือนานาชาติ

บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 10 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองคือทฤษฎีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) ส่วนที่สามคือรายละเอียดของเทคโนโลยีไร้สาย Zigbee ที่ใช้ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ส่วนที่สี่คือโปรแกรม Simulink ส่วนที่ห้าคือตรรกศาสตร์คลุมเครือ ส่วนที่หกคือการกล่าวถึงวิธีการให้น้ำแก่มั่นสำปะหลัง ส่วนที่เจ็ดคือระบบสมองกลฝังตัว ส่วนที่แปดคือรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ ส่วนที่เก้าคือปรัทัศนัวรรณกรรม และส่วนสุดท้ายคือสรุป

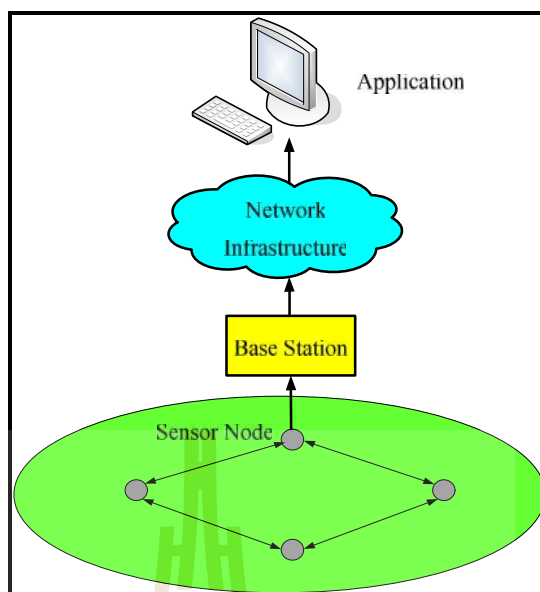
2.2 ทฤษฎีเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN)

เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network; WSN) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาและมีศักยภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ระบบเตือนภัยพิบัติ (Disaster Warning Systems) เพื่อพยากรณ์และเตือนภัยให้สามารถป้องกันและลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ระบบเฝ้าตรวจสอบและควบคุมทางด้านเกษตรกรรม (Monitoring and Controlling Systems for Agriculture) เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ตรวจรู้หรือเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ไม่ใช่สายตัวนำสัญญาณ โดยเป็นประเภทหนึ่งของเครือข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Personal Area Network; PAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีโปรโตคอล (Protocol) ที่มีลักษณะเฉพาะ มุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลต่ำ มีการใช้พลังงานต่ำ และมีความซับซ้อนน้อย สามารถตรวจวัดสัญญาณเป้าหมายและส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์เซ็นเซอร์จำนวนมาก ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งต่าง ๆ จากเซ็นเซอร์ไร้สายมากมาย เนื่องจากใช้ต้นทุนในการพัฒนาต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับทุกพื้นที่สภาพแวดล้อม โดยอุปกรณ์เซ็นเซอร์จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารหรือส่งข้อมูลถึงกันตามที่ผู้พัฒนาได้โปรแกรมไว้ เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงหรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยการนำเซ็นเซอร์

แต่ละตัวไปติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการวัดสัญญาณ และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะติดต่อและส่งข้อมูลถึงกัน เพื่อส่งข้อมูลไปประมวลผลหรือแสดงผลยังเครื่องปลายทาง

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีการพัฒนาในยุคเริ่มต้นจากการใช้งานทางด้านการทหารในการทำสงครามเย็นทางด้านคลื่นเสียง ต่อมาได้รับการพัฒนาทางระบบเรดาร์ทางอากาศ ระบบเครือข่ายในยุคแรกมีรูปแบบเป็นลำดับขั้นการประมวลผลจะทำตามลำดับขั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงานยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ต เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบกระจายตัวโดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัวการประมวลผลสัญญาณการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูง แต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนี้ทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีขนาดใหญ่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเซ็นเซอร์การติดต่อสื่อสารไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดวิธีการวัดและเก็บข้อมูลแบบใหม่โดยใช้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายและฝังตัวในสิ่งแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูลหน่วยร่วมเซ็นเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายและสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อสื่อสารและส่งข้อมูลหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งลักษณะการทำงานจะขึ้นอยู่กับแต่ละสถานะที่แตกต่างกันไป

จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสามด้าน ประกอบด้วย เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่มีขนาดเล็กและมีความแม่นยำในการวัดสูง เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว และเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมถึงอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีขนาดเล็ก การรวมกันของสามเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ ที่มีราคาถูก เทคโนโลยีหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ สามารถตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเองและติดต่อสื่อสารถึงกันแบบเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.2.1 องค์ประกอบของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสามส่วนได้แก่ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ (Sensor Unit) เกตเวย์ (Gateway) และสถานีฐาน (Base Station) หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเองทุก ๆ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกัน เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ โดยให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (Multi-Hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต เนื่องจากการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซ็นเซอร์เองหรือในบางกรณีอาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากข้อมูลหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงาน

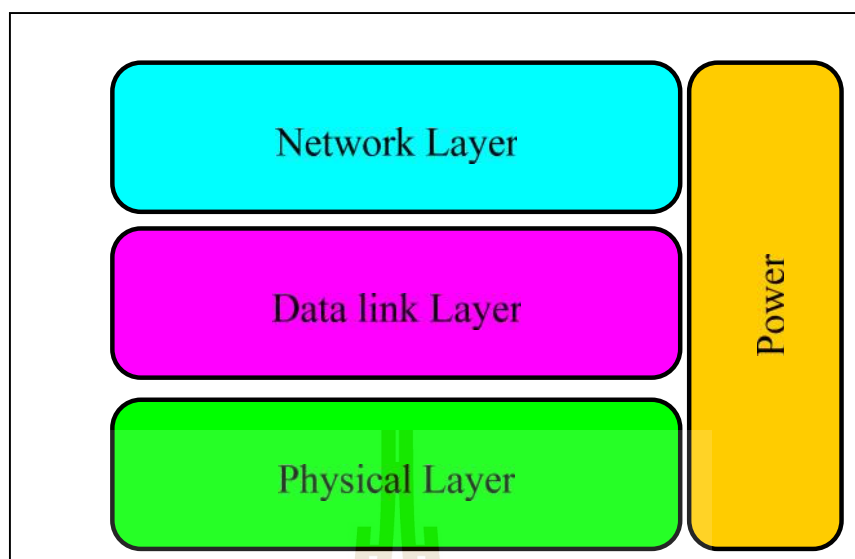
หมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่าย ที่มีหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้างของเครือข่ายและส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลในแต่ละโครงข่ายนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทางซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่ายจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่านั้น ๆ

2.2.2 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์

การทำงานของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อมนำข้อมูลไปประมวลผลสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีส่วนประกอบหลักดังนี้

- 1) เซ็นเซอร์ ทำหน้าที่วัดค่าต่าง ๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง แรงดันสะท้อน ความเคลื่อนไหว ความลึก เป็นต้น
- 2) หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ทำหน้าที่รับ ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สาธารณะ (ISM Band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง
- 3) หน่วยประมวลผล ทำหน้าที่ติดต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูล จัดเก็บลงในหน่วยความจำ รอกการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่าง ๆ หรือหน่วยประมวลผลกลาง อาจทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์
- 4) แหล่งพลังงาน ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยร่วมเซ็นเซอร์แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.2.3 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย



รูปที่ 2.2 แสดงระดับชั้นเครือข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

โปรโตคอลสแตกหรือระดับชั้นเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมากเพราะเซ็นเซอร์ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัดทำให้พลังงานมีผลมากกับเซ็นเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของ Open Systems Interconnection (OSI) model โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูป แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเองคอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเองส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุก ๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

1) ชั้นกายภาพ (Physical Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้เวลาช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด

2) ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Control; MAC) การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้าง

ที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

3) ชั้นเครือข่าย (Network Layer) รับผิดชอบการรับ ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปเพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ไปยังสถานีฐานการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

4) ระนาบพลังงาน (Power Plane) รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่าง ๆ ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้น เช่นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เหลือน้อย อาจจะลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูลในกรณีที่จะส่งข้อมูลลดลง เนื่องจากการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

2.2.4 มาตรฐานระบบเครือข่าย

มาตรฐานระบบเครือข่ายที่ใช้ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะเป็นมาตรฐานเฉพาะกลุ่มที่พัฒนาขึ้นและเริ่มใช้ในงานวิจัยและงานจริง ซึ่งแตกต่างจากกรณีของอินเทอร์เน็ต

Zigbee ถูกพัฒนาโดย Zigbee Alliance บนมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ความถี่ที่ใช้คือความถี่สาธารณะ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ความเร็วด้านกายภาพ 250 Kbps และระยะทำการ 10 – 75 เมตร

Ultrawide Band มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่กำหนดโดย Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม

Bluetooth เป็นมาตรฐานที่แตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานชุด IEEE 802.11 โดยเป้าหมายในการพัฒนาก็เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งานและใช้กับระบบเครือข่ายขนาดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า PAN (Personal Area Network) ซึ่งขนาดของ Throughput เท่ากับ 500 Kbps และมีรัศมีการส่งสัญญาณที่ 10 เมตร

2.2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย แบ่งออกเป็น 5 ด้านหลัก

1) ด้านวิศวกรรมทั่วไป

- การติดตั้งเครื่องมือสื่อสารภายในรถยนต์
- การใช้เซ็นเซอร์โดยมีคีย์บอร์ดเป็นตัวสัมผัสปลายนิ้วมือ

- ตัวตรวจจับและการดูแลรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรม
- สำนักงานอัจฉริยะ
- การตรวจสินค้าภายในร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้า
- การรักษาความปลอดภัยด้านที่อยู่อาศัยและทรัพย์สิน

2) การควบคุมด้านเกษตรกรรมและสิ่งแวดล้อม

- การทำการเกษตรกรรมโดยมีความถูกต้องเที่ยงตรง
- การสำรวจพืชผลทางการเกษตร
- การควบคุมภูมิศาสตร์ทางกายภาพ
- การควบคุมคุณภาพน้ำ
- การควบคุมจำนวนที่พักอาศัย
- การตรวจจับภัยพิบัติต่าง ๆ
- การขนส่งสิ่งเจือปน

3) ด้านวิศวกรรมโยธา

- การควบคุมงานโครงสร้าง
- การวางแผนผังเมือง
- การฟื้นฟูปัญหาภัยพิบัติต่าง ๆ
- การควบคุมและการจัดการอย่างมีคุณค่า
- ใช้ในการสู้รบและการทำสงคราม
- การป้องกันภัยต่าง ๆ

4) ด้านควบคุมสุขภาพและการผ่าตัด

ด้านตัวตรวจวัดด้านการแพทย์

- การวัดอุณหภูมิของร่างกาย
- การวัดความดันโลหิต
- การวัดชีพจร

5) ด้านการผ่าตัดขนาดเล็ก

- MEMS-Based Robots

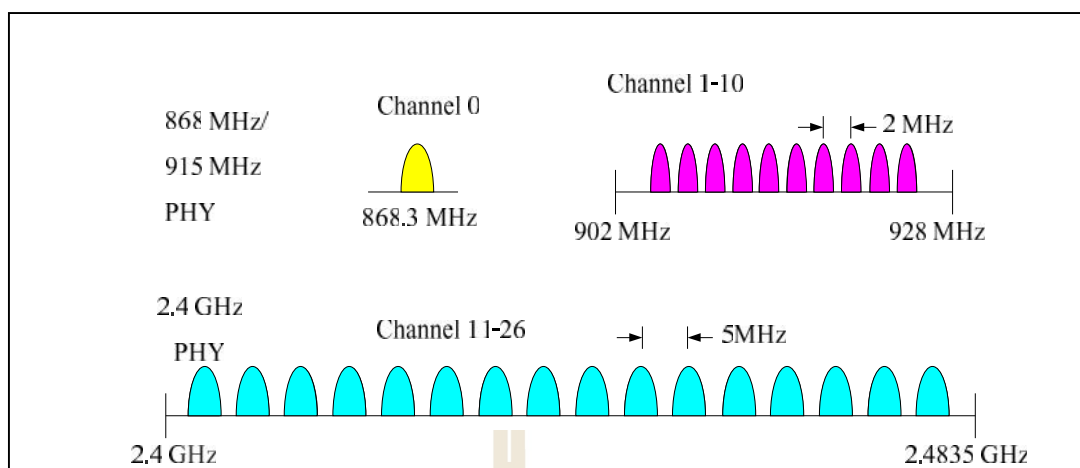
เนื่องจากลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัย ระบบนี้จะต้องการความเร็วในการส่งสูง ระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบนี้เครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่ง

ข้อมูล แต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลาโดยอาจมีการรวมข้อมูลในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูล เพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน รวมทั้งระบบการสื่อสารระยะสั้นเช่น เซ็นเซอร์ มักมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลในระยะสั้น ๆ ไม่ไกลมาก แต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนาระบบขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์ดังเช่น Bluetooth Zigbee รวมทั้ง Ultrawide Band โดยในส่วนตัวถัดไปจะกล่าวถึง Zigbee ที่ได้ใช้ในวิทยานิพนธ์

2.3 เทคโนโลยีไร้สาย Zigbee

Zigbee มาตรฐานสากล กำหนดโดย Zigbee Alliance (Thaieasyelec, 2012) เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่าง ๆ Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่าน 2.4 GHz, ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง, 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 2.3 ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล จะอยู่ที่ 250 Kbps, 40 Kbps, 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน โดยในพื้นที่โล่งระยะสื่อสารประมาณ 200 เมตร สำหรับในอาคารมีระยะสื่อสารประมาณ 30 เมตร สามารถเพิ่มระยะสื่อสารได้โดยการเพิ่ม Intermediate Node หรือ Router

Zigbee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า (2 Layer ล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ Link Quality Access control Security แต่ใน Layer ถัดไปจะเป็นรูปแบบของ Zigbee



รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee

Zigbee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดยแบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย IEEE 802.15.4 รูปแบบอุปกรณ์ ดังนี้

Network Coordinator

- รักษาข้อมูลทั้งหมดของระบบ
- มีความซับซ้อนมากที่สุดในการบริหารการเชื่อมต่อ
- ใช้หน่วยความจำและกระบวนการคำนวณมาก

Full Function Device (FFD)

- ใช้โหมดยการทำงานตาม IEEE 802.15.4 และลักษณะเฉพาะเจาะจงทั้งหมดโดยมาตรฐาน

- สามารถใช้ใน Network Edge Devices ในขณะที่เครือข่ายติดต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ หรืออุปกรณ์ที่ไม่ได้ขึ้นอยู่ด้วย IEEE 802.15.4

Reduced Function Device (RFD)

- มีการจำกัดรูปแบบการทำงานที่ควบคุมเรื่องความซับซ้อน
- การใช้งานทั่วไปจะอยู่ใน Network Edge Devices

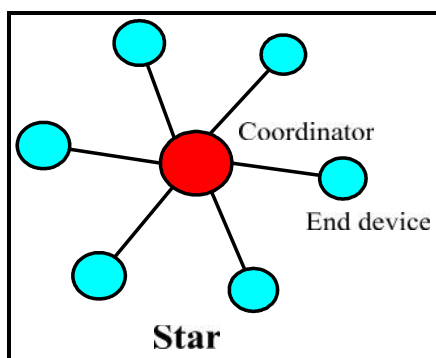
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ และเน้นการสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณรบกวนสูงและเน้นที่ความง่ายเพื่อให้ใช้การสื่อสารมี

ราคาถูกส่วนมาตรฐาน Zigbee เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการติดต่อเครื่องเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันเช่นเครื่องเซ็นเซอร์สำหรับ Home Automation ที่มีการสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์ประตุ การสื่อสารแบบ Zigbee กับกล้องเพื่อบันทึกภาพคนที่เข้ามาในบ้านเป็นแบบ Multi-Hop Routing ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องเซ็นเซอร์ที่ต้องการโดยผ่านเครื่องเซ็นเซอร์ตัวอื่น ๆ ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่ได้รับการสนับสนุนในบลูทูธ การสื่อสารแบบ Zigbee ช่วยให้ขยายรัศมีการส่งของข้อมูลออกไปได้ Zigbee สำหรับในชั้นเน็ตเวิร์ก (Network Layer) ของ Zigbee จะอยู่บนพื้นฐานของระบบมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งในชั้นเน็ตเวิร์ก สามารถรองรับได้ 3 แบบคือแบบสตาร์ (Star) แบบเมชและวงแหวน (Ring Topology) การค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง (Multiple Routing Algorithms) เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของเครื่องเซ็นเซอร์จากที่ Zigbee รองรับโทโปโลยีแบบเมช ซึ่งในตัว Zigbee นี้จะต้องมีโปรโตคอล (Aodv Protocol) ซึ่งการทำงานของ Aodv Protocol คือ การส่งข้อความ (Message) ผ่านไปยังโนดข้างเคียง (Neighbor Node) เพื่อไปยังโนดที่ต้นทางไม่สามารถติดต่อได้โดยตรง ในระหว่างทางที่ข้อความถูกส่งผ่านไปโปรโตคอล Aodv ก็จะทำการค้นหาเส้นทางไปด้วย โดยเชื่อว่าจะไม่เกิดการวนลูป (Loop) และพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อประหยัดเวลาในการส่งข้อมูลและโปรโตคอล Aodv (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Protocol) ยังสามารถที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง (Route) และสามารถสร้างเส้นทางใหม่ได้หากเกิดข้อผิดพลาด ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Xbee ซึ่งมีคุณลักษณะสมบัติที่ตรงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ทุกประการ

2.3.1 โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

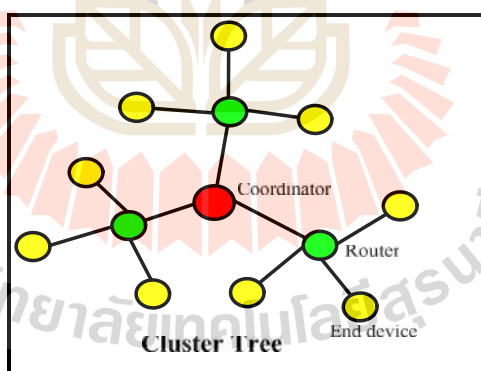
Application Layer เป็นชั้นที่มีส่วนของการทำงานบนเฟรม (Application Framework) ทำหน้าที่จัดการในการเข้าถึงและใช้งานบนเลเยอร์นั้น Application Support Sub-Layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรม (Frame) และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล Network Layer ทำหน้าที่ใช้ในการหาเส้นทาง (Routing) ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network) ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล Zigbee 1 จุด และอุปกรณ์ปลายทางหลาย ๆ จุด ในเครือข่ายแบบสตาร์ อุปกรณ์ปลายทางทั้งหมดจะสื่อสารกับอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้นถ้าอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทางอื่น ๆ ต้องส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังผู้รับ ดังรูปที่ 2.4



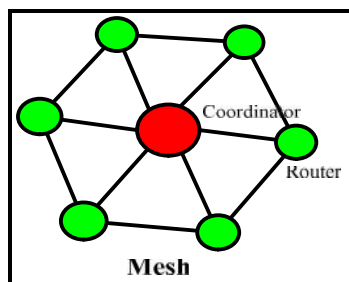
รูปที่ 2.4 เครือข่ายแบบสตาร์

เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree) ในเครือข่ายนี้อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือ Zigbee โปรโตคอลเราเตอร์ทำหน้าที่ 2 ประเภท คือเพิ่มจำนวนโหนดที่สามารถเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่ายและขยายขนาดของเครือข่ายเนื่องจากเราเตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังจุดต่าง ๆ ของเครือข่ายได้โดยที่อุปกรณ์ปลายทางไม่จำเป็นต้องอยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครือข่ายแบบต้นไม้

เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรงไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องทำการต่อผ่านอุปกรณ์ RFD ก่อนหน้าข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้คือช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่งและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบเมช

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมช มีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-Hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (Single-Hop) เครือข่ายโปรโตคอล Zigbee เป็นเครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกันซึ่งหมายความว่าจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายทุกจุดมีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่า ๆ กัน มีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อมกัน 2 วิธี ได้แก่ Beacon และ Non-Beacon การเชื่อมต่อแบบ Non-Beacon ทุกจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ในเครือข่ายแบบ Beacon จุดเชื่อมต่อจะสามารถส่งข้อมูลได้ในเวลาที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

2.3.2 การทำงานของ Zigbee

แบ่งได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1) Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนดตำแหน่งที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการจัดการ เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2) End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้

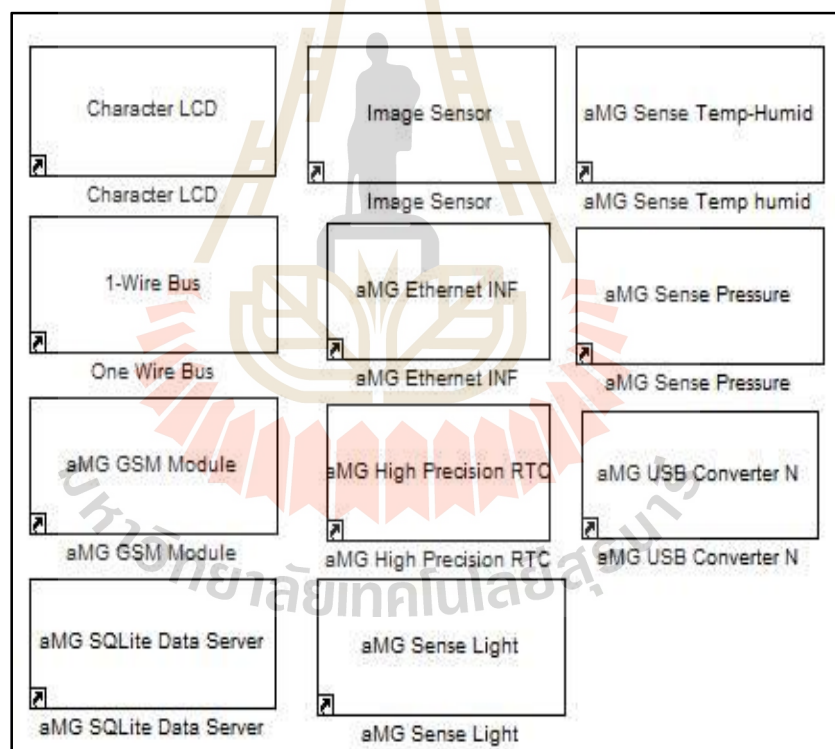
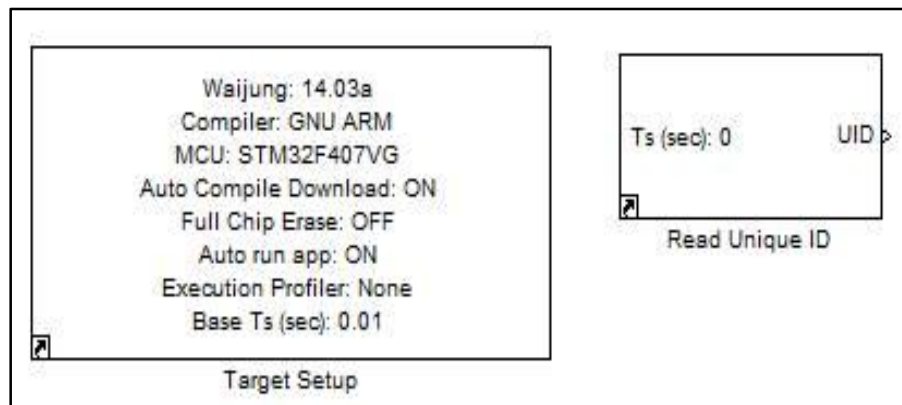
3) Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่ายและหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดซึ่งจะต้องใช้เวลาน้อยที่สุด

2.4 Simulink และ Real-time Workshop

โปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมา ซึ่งก็คือ Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ที่ใช้ระบบโมเดลโดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบเช่น แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous- Time) เวลาไม่ต่อเนื่อง (discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multirate) ซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของแต่ละบล็อกแต่ละบล็อกละเอียดเป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำ

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะเช่นการติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power systems)

Real-time workshop เป็นโปรแกรมที่สร้าง C Code จากบล็อกไดอะแกรม และสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-time systems) โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลาย Version ซึ่ง Version ดั้งเดิมของโปรแกรม MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำแต่มีข้อเสียคือฟังก์ชัน ที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบบล็อกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น Version ใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุง ใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของ version ใหม่ก็คือ มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้น และมีฟังก์ชันต่างๆ ใช้เลือกใช้ในสาขาต่างๆ มากมายแต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูง และต้องการ Co-Processor ในการช่วยคำนวณแต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลดีที่ได้ก็ถือว่าคุ้มใน Simulink จะมี Blocksets หลายรูปแบบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นดังนี้ คือ Device configuration, Hardware modules, On-chip peripherals ดังแสดงในรูปที่ 2.7 รูปที่ 2.8 และ รูปที่ 2.9

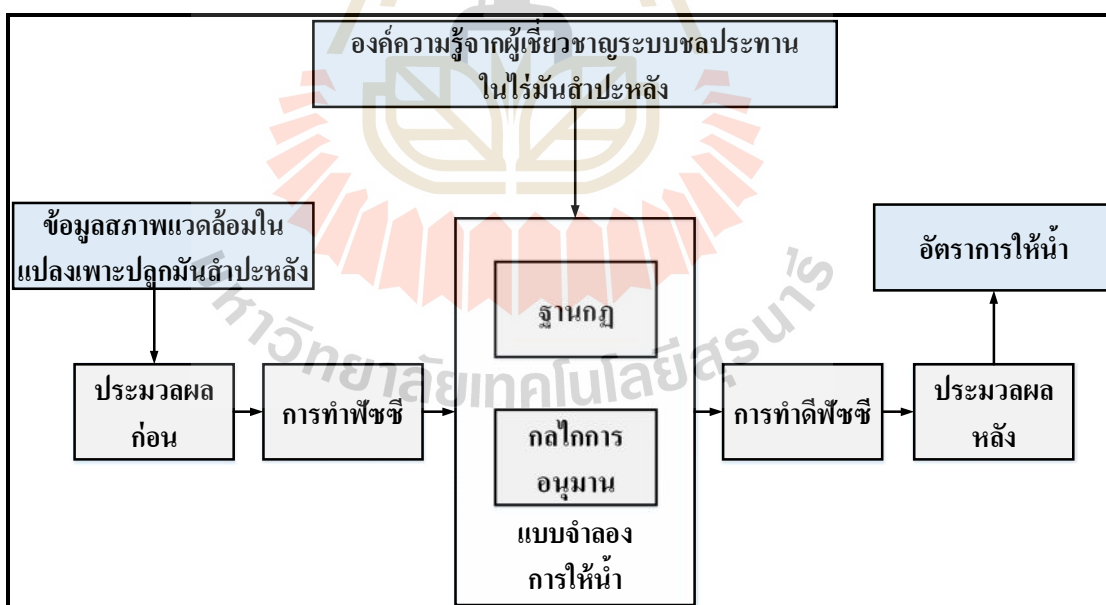


ADC	CAN	CRC
ADC	CAN	CRC
DAC	DCMI	FLASH
DAC	DCMI	FLASH
FSMC	I2C	IO
FSMC	I2C	IO
RCC	RESET	RTC
RCC	RESET	RTC
SDIO	SPI	TIM
SDIO	SPI	TIM
	UART	
	UART	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลตัวแปร โดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตในการแทนระดับความคลุมเครือ ดังนั้นปริมาณต่าง ๆ ของข้อมูลที่ทำ การตรวจวัดได้ด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจากแปลงเกษตร รวมถึงค่าจากการเก็บรวบรวมทางสถิติ เช่น ETp Kc หรือแม้แต่ค่าอินพุตจากผู้ใช้งาน สามารถแทนด้วยตัวแปรฟัซซีได้ตามขั้นตอนของ การทำฟัซซี (Fuzzification) การใช้ตัวแปรฟัซซีในการจำลองตัวแปรของระบบทำให้สามารถใช้ งานข้อมูลที่ไม่มีความชัดเจน ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้จากแปลงเกษตร ไม่ว่าจะเป็นจากตัวตรวจรู้ หรือ จากการประมาณค่าที่ต้องใช้งานต่าง ๆ (เช่นค่าระยะห่างระหว่างหัวจ่ายน้ำหยด ค่าการอุ้มน้ำของดิน ฯลฯ) จากนั้นระบบฟัซซีจะทำการประมาณค่าเอาต์พุตจากกฎความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฟัซซี ต่าง ๆ กฎเหล่านี้ถูกแปลงจากองค์ความรู้ (Knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญ (Expert) ในด้านการให้น้ำ หรือการชลประทาน การอนุมานเอาต์พุตจากกฎต่าง ๆ จะนำไปสู่การทำดีฟัซซีเพื่อให้ได้ค่าเชิง ตัวเลขของอัตราการให้น้ำของหัวจ่าย แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แบบจำลองการให้น้ำด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ

2.6 วิธีการให้น้ำแก้มันลำปะหลัง

วิธีการให้น้ำพืชมีสี่วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือการให้น้ำทางผิวดิน เป็นการให้น้ำแบบปล่อยให้ท่วมเป็นผืน กับการให้น้ำแบบท่วมร่อง วิธีที่สองคือการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ เป็นการให้น้ำด้วยการพ่นน้ำออกจากหัวสปริงเกอร์ขึ้นไปบนอากาศแล้วให้เมื่อน้ำตกลงมาบนแปลงปลูกพืช โดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของเมื่อน้ำที่สม่ำเสมอเช่นเดียวกับฝนตก วิธีที่สามคือการให้น้ำแบบหยด เป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวดินในเขตบริเวณรากพืชโดยผ่านท่อให้น้ำหยด และวิธีสุดท้ายการให้น้ำทางใต้ดิน เป็นการให้น้ำแก่พืชโดยการยกระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาให้สูงพอที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่ระดับเขตรากพืชได้แก่การให้น้ำในคูและการให้น้ำไหลเข้าท่อที่ฝังไว้ใต้ดิน สำหรับการให้น้ำกับมันลำปะหลัง การให้น้ำแบบแบบน้ำหยด เป็นวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม โดยสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับตัวพืช เพื่อให้พืชสามารถพัฒนาตัวเองให้ต้านทานต่อแมลงศัตรูได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมกับแมลงตัวห้ำและตัวเบียนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ แต่ไม่เหมาะสมกับแมลงศัตรูพืชอย่างพลีชีพ

การให้น้ำแบบน้ำหยดเป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวดินในเขตบริเวณรากพืชโดยผ่านท่อให้น้ำหยด เป็นวิธีที่ไม่สามารถชะล้างและทำลายตัวพลีชีพพร้อมถุงให้ออกจากดินมันลำปะหลังได้ แต่จะเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับตัวพืช เพื่อให้พืชสามารถพัฒนาตัวเองให้ต้านทานต่อแมลงศัตรูได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมกับแมลงตัวห้ำและตัวเบียนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ การให้น้ำแบบน้ำหยดต้องมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. เครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำจากแหล่งน้ำส่งเข้าสู่ระบบน้ำหยด ต้องส่งน้ำให้มีแรงดันอย่างน้อย 0.6 บาร์
2. ระบบส่งน้ำ ประกอบไปด้วย ท่อประธาน เป็นท่อที่ต่อจากแหล่งน้ำ โดยวางไว้บนดิน หรือฝังในดิน ท่อรองประธาน เป็นท่อที่แตกจากท่อประธานอาจใช้ท่อพีวีซีหรือพีอี ขนาด 30-50 มิลลิเมตร ท่อน้ำหยด เป็นท่อที่แตกจากท่อรอง วางขนานกับแถวของพืชอาจใช้ท่อพีวีซีหรือพีอี ขนาด 12-20 มิลลิเมตร ยาวไม่เกิน 300 เมตร หัวน้ำหยด เป็นหัวปล่อยน้ำอยู่ติดกับท่อน้ำหยด เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของน้ำจากท่อน้ำหยดสู่ดิน ขนาดของรูน้ำหยด 0.5-1.5 มิลลิเมตร
3. เครื่องกรอง จะทำหน้าที่กรองเอาเศษวัชพืช ใบไม้ ทราย ออกจากน้ำ ถ้าปล่อยให้สิ่งเหล่านี้ผ่านไป จะทำให้หัวน้ำหยดเกิดการอุดตัน เป็นสาเหตุให้ดินพืชขาดน้ำแล้วชะงักการเจริญเติบโต



น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดผลผลิตของพืช การให้น้ำแก่ต้นลำปะหลังสามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ระบบน้ำหยดซึ่งจากการศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีพบว่า การให้น้ำแก่ต้นลำปะหลังสามารถเพิ่มผลผลิตจาก 4 ตันต่อไร่เป็น 12 ตันต่อไร่แต่การให้น้ำนั้นต้องมีการให้ที่ถูกต้องโดยปริมาณน้ำที่ให้และความถี่ของการให้น้ำ คำนวณจากความต้องการน้ำของพืชและความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

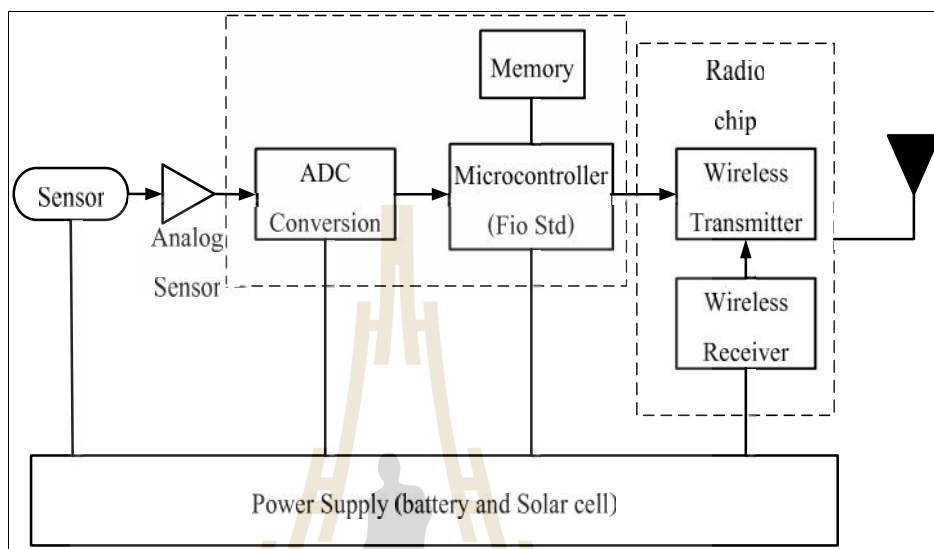
ตารางที่ 2.1 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อดินแต่ละชนิด

เนื้อดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (มม.น้ำ/ชม.ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำเอาไปใช้ได้	พืชไม่ได้ใช้
1.ดินทราย	1.08	0.60	0.48
2.ดินร่วนปนทราย	1.9	0.95	0.88
3.ดินร่วน	2.85	1.43	1.33
4.ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.7	1.85	1.85
5.ดินร่วนปนดินเหนียว	3.88	1.65	2.23
6.ดินเหนียว	3.98	1.55	2.43

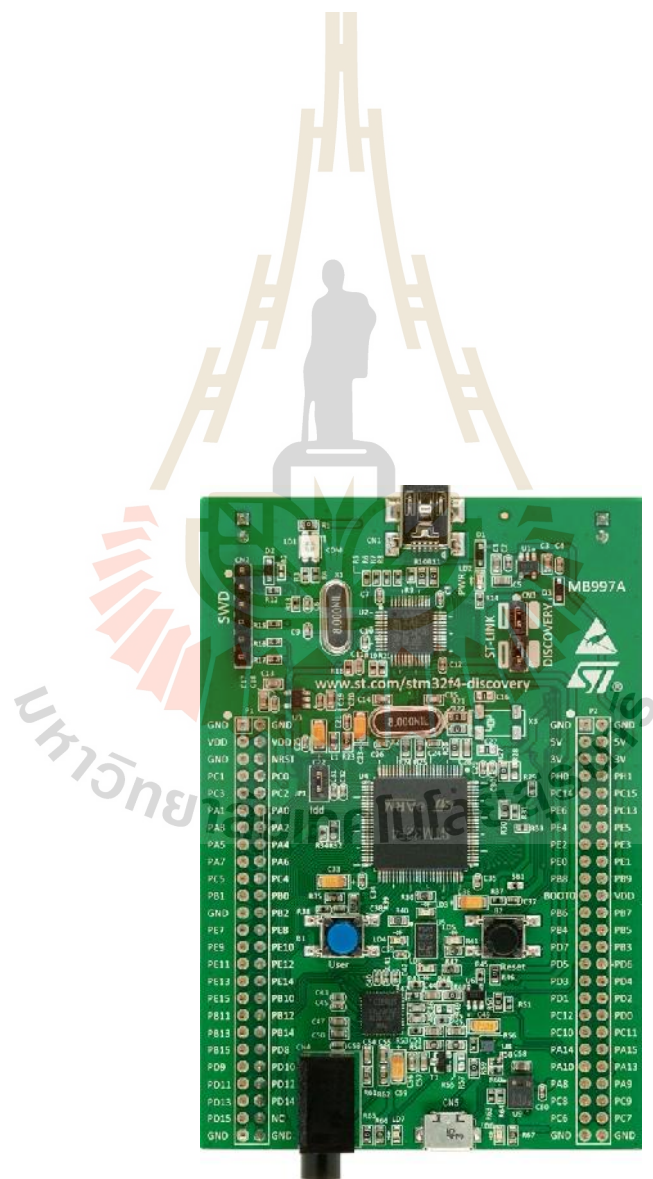
2.7 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System)

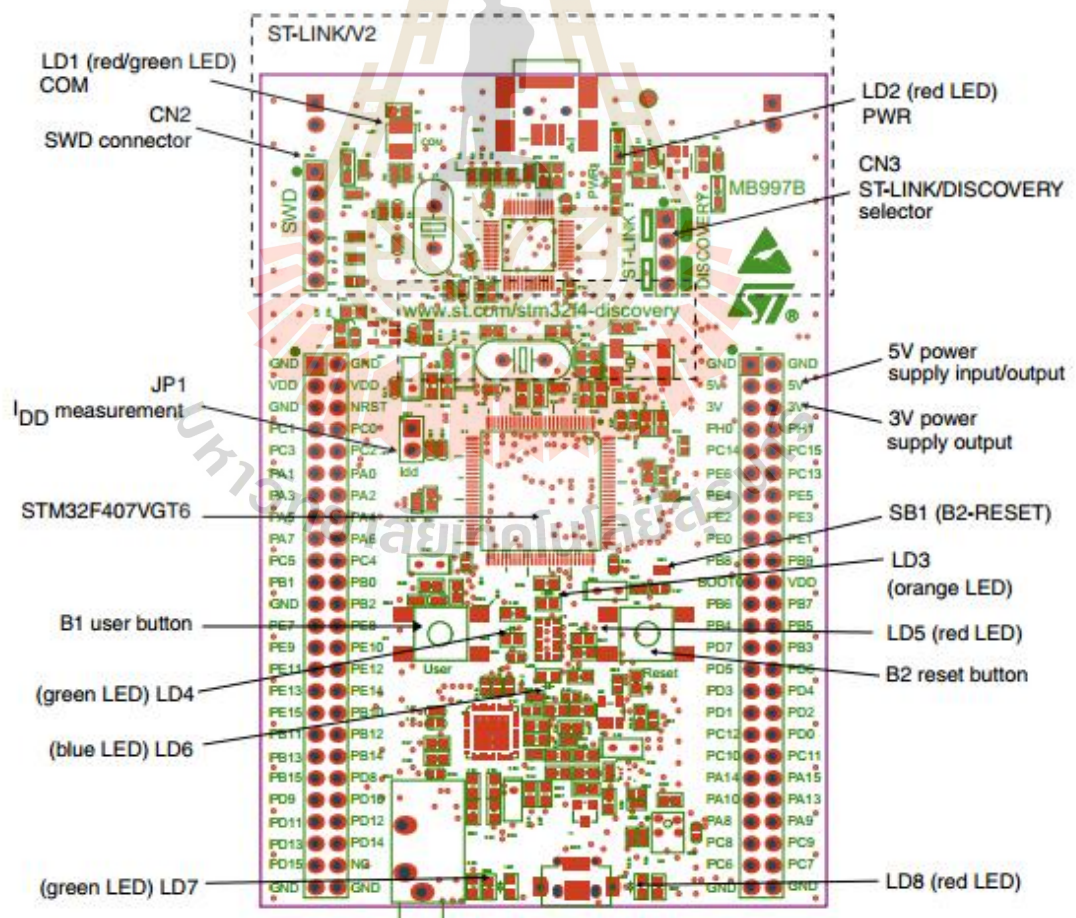
ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) หรือคอมพิวเตอร์วางตั้ง (Notebook) ที่คนส่วนใหญ่รู้จักและใช้งานทุกวันนี้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวจะเป็นการย่อเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เล็กลงโดยเหลือเพียงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและมีขีดความสามารถน้อยกว่า วัตถุประสงค์หลักของการใช้งานระบบสมองกลฝังตัวคือนำไปใส่ในอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเสมือนมีสมองกลฝังตัวอยู่ภายในไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในชีวิตประจำวันเช่น หม้อหุงข้าว เครื่องซักผ้าตู้เย็น (รุ่นอัจฉริยะ) โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความซับซ้อนเช่น ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันหรือก๊าซในรถยนต์ อากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัว ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบสมองกลฝังตัวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบสมองกลฝังตัวในการประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบสมองกลฝัง

ตัวในการรับข้อมูลสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบมองกล
ฝังตัวที่ใช้งานมี 2 บอร์ด คือ บอร์ด STM32F4 Discovery และบอร์ด NodeMCU



รูปที่ 2.13 ระบบมองกลฝังตัวในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Mohsen Nasri, 2010)



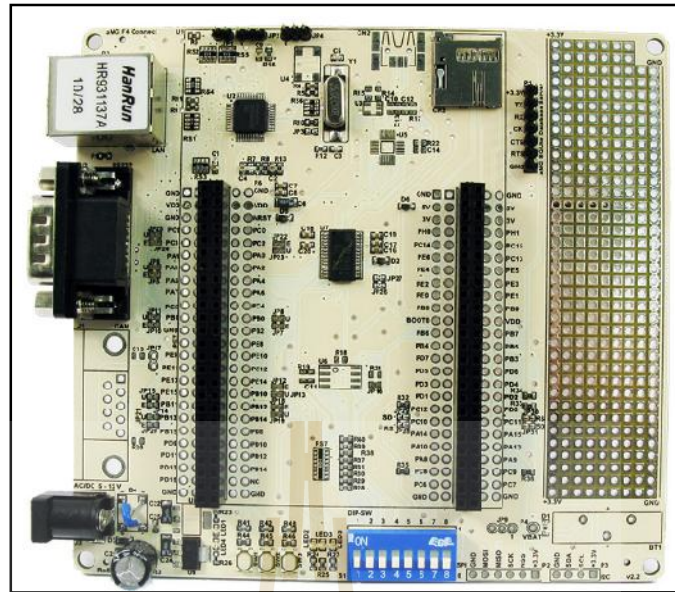


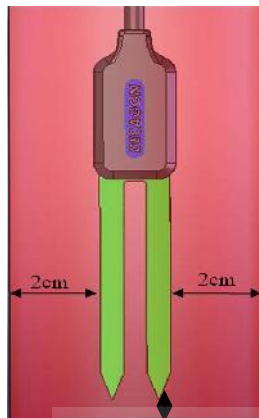
ซอฟต์แวร์ที่ใช้งาน

1. Waijung blockset หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
2. Matlab 32-bits 2009a (version 7.8) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
3. Simulink 2009 (version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
4. Real-Time Workshop 2009 (version 7.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
5. Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 (version 5.3) หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
6. RealView MDK for ARM version 4.0 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
7. Microsoft Windows XP SP2 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า
8. Microsoft .Net Framework version 3.5 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า

บอร์ด Waijung มีลักษณะเป็น Expansion บอร์ด ซึ่งเหมาะกับการนำไปเสียบกับ Base Board เพื่อใช้งานโดยเฉพาะบอร์ด aMG F4Connect เป็น Base Board ที่ถูกนำมาใช้งานกับบอร์ด STM32F4DISCOVERY ทำให้สามารถเชื่อมต่อการใช้งานได้มากขึ้น ดังนี้

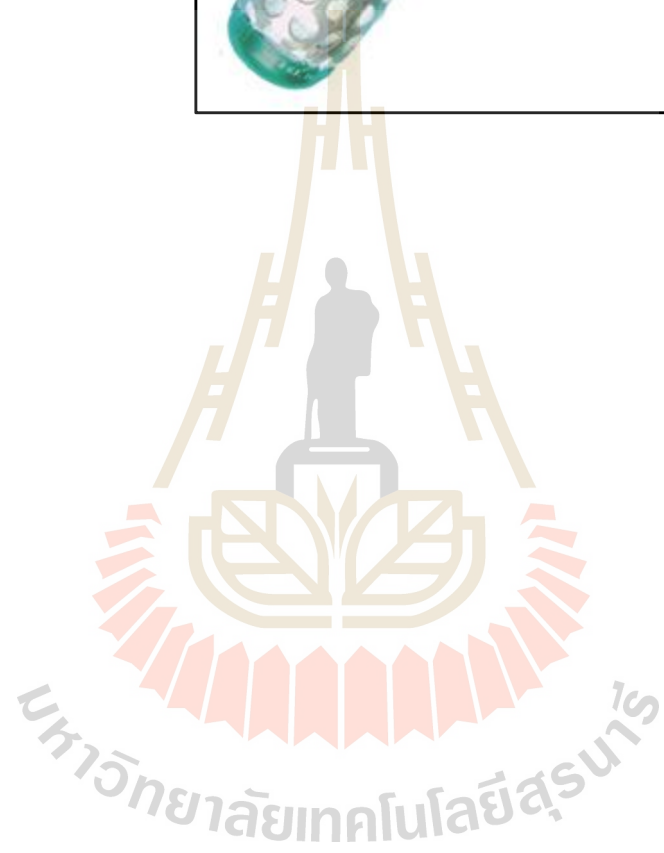
- 1) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์
 - Ethernet 10/100 (with LAN/RJ45 Connector)
 - RS232 (with dedicated RS232 Transceiver + Male DB9 Connector)
 - SPI and I2C Port Pinout
- 2) Micro SDCard Socket
- 3) การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน
 - 8 DIP Switchs
 - 3 Push Buttons
 - 3 LEDs (Red, Yellow, Green)
- 4) Onboard 3.3 V 800 mA LDO Regulator
- 5) มี Socket สำหรับเสียบบอร์ด STM32F4DISCOVERY
- 6) 5VDC 2.0 mm Main Power Socket
- 7) Prototyping Area

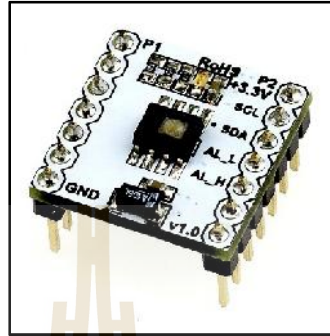




รูปที่ 2.17 เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน EC-5 (www.decagon.com)









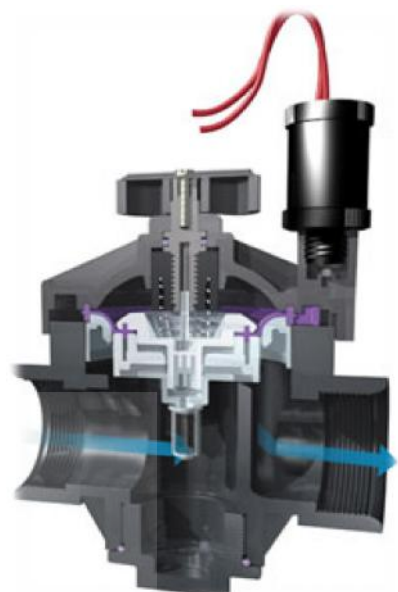




มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.23 (ก) วาล์วไฟฟ้า hunter PGV203 (ข) ภาพตัดของวาล์วไฟฟ้า hunter PGV203
(www.hunterindustries.com)

2.9 ปฏิสนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้ฟิสิกส์ลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010 [3]	N. Watthanawisut N. Tongrod T. Kerdcharoen A. Tuantranont	บทความนี้นำเสนอระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ โดยทำการติดตั้งเครื่อง GPS บนรถไถเพื่อทำการติดตามตำแหน่งรถไถและส่งข้อมูลตำแหน่งที่ได้ผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee ซึ่งจะทำให้ทราบว่ารถคันดังกล่าววิ่งหรือทำงานไปได้ระยะทางเท่าใดในแต่ละวันเพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการฟาร์ม
2005 [4]	N. Kimura S. Latifi	บทความนี้นำเสนอการสำรวจบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีทรัพยากรในการประมวลผลสัญญาณที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถนำอัลกอริทึมการบีบอัดข้อมูลที่มีอยู่แล้วมาประยุกต์ใช้ได้โดยตรง จะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาใหม่
2005 [5]	A. Kulakov D. Davcev	บทความนี้เสนอวิธีการเก็บข้อมูลแบบชาญฉลาด โดยประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตในการบีบอัดสัญญาณเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลที่จะส่งผ่านเครือข่ายไร้สายประกอบกับใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้เพื่อทำการแยกแยะข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ทำให้สามารถเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2006 [6]	F. J. Maldonado J. A. Hernandez	บทความนี้เสนอการออกแบบระบบสำหรับเซ็นเซอร์อัจฉริยะโดยสามารถทำการปรับตั้งค่าที่ถูกต้องของการวัดได้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการฝึกสอนให้ระบบสามารถรู้จำรูปแบบของค่าที่ถูกต้องได้ โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้

ตารางที่ 2.2 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้ฟuzzyลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง (ต่อ)

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2008 [7]	J. W. Barron A. I. Moustapha R. R. Selmic	บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับตัวเซ็นเซอร์โดยสามารถระบุตำแหน่งของโหนดที่เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ โดยบทความนี้ประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการรู้จำเพื่อสร้างแบบจำลองข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์จริง
2008 [8]	A. Goh, S. Craciun S. Rao, D. Cheney K. Gugel, J. C. Sanchez J. C. Principe	บทความนี้เสนอการออกแบบระบบการบันทึกสัญญาณประสาทและการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยผู้วิจัยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณแบบเวลาจริงก่อนทำการส่งเพื่อลดขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณและเพื่อประหยัดพลังงาน
2009 [9]	X. Chen K. Makki K. Yen	บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยนำเสนอภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางในการป้องกันภัยเหล่านั้นเพื่อให้เครือข่ายมีความปลอดภัยมากที่สุด

ตารางที่ 2.2 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้ฟuzzyลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง (ต่อ)

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2010 [10]	J. Li X. Zhu N. Tang J. Sui	บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee และอัลกอริทึมในการหาเส้นทางการรับส่งข้อมูล เพื่อให้อุปกรณ์ ZigBee มีระยะเวลาของการใช้งานได้นานที่สุด โดยบทความได้เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานในเครือข่ายโดยการลดจำนวนข้อมูลที่ต้องส่งในเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล
2010 [11]	J. Wang X. Lin K. Wu	บทความนี้นำเสนอการบีบอัดข้อมูลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้เวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณและใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการเลือกค่าพารามิเตอร์ของการแปลงเวฟเล็ต
2010 [12]	M. Nasri A. Helali H. Sghaier H. Maaref	บทความนี้เสนอวิธีการบีบอัดสัญญาณภาพสำหรับใช้ในการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบปรับตัวได้ในโดเมนของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งทำให้สามารถลดจำนวนบิตข้อมูลและเกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
2011 [13]	R. V. Kulkarni G. K. Venayagamoorthy	บทความนี้เสนอการสำรวจบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ของปัญญาเชิงคำนวณ (Computational intelligence) เพื่อให้ทราบถึงหลักการพื้นฐาน เทคนิคและแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 2.2 ผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้ฟuzzyลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง (ต่อ)

ปีที่พิมพ์	คณะผู้วิจัย	องค์ความรู้ที่ได้จากบทความ
2011 [14]	N. Mohsen H. Abdelhamid S. Halim M. Hassen	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการบีบอัดสัญญาณภาพในโดเมนของการแปลงเวฟเลตเพื่อประยุกต์ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมที่สามารถปรับตัวได้โดยยึดหลักของการใช้พลังงานในการคำนวณที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับคุณภาพของสัญญาณภาพที่ได้รับ
2012 [15]	Y. Liu, L. Kong B. Xu, T. Du S. Hou, and S. Kang	บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบการควบคุมการให้น้ำแก่พืช โดยใช้ข้อมูลความชื้นได้ดินในบริเวณรากของพืชที่ระดับความลึกต่าง ๆ ประกอบการตัดสินใจในการให้ส่งจ่ายน้ำแก่พืชโดยใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

2.10 สรุป

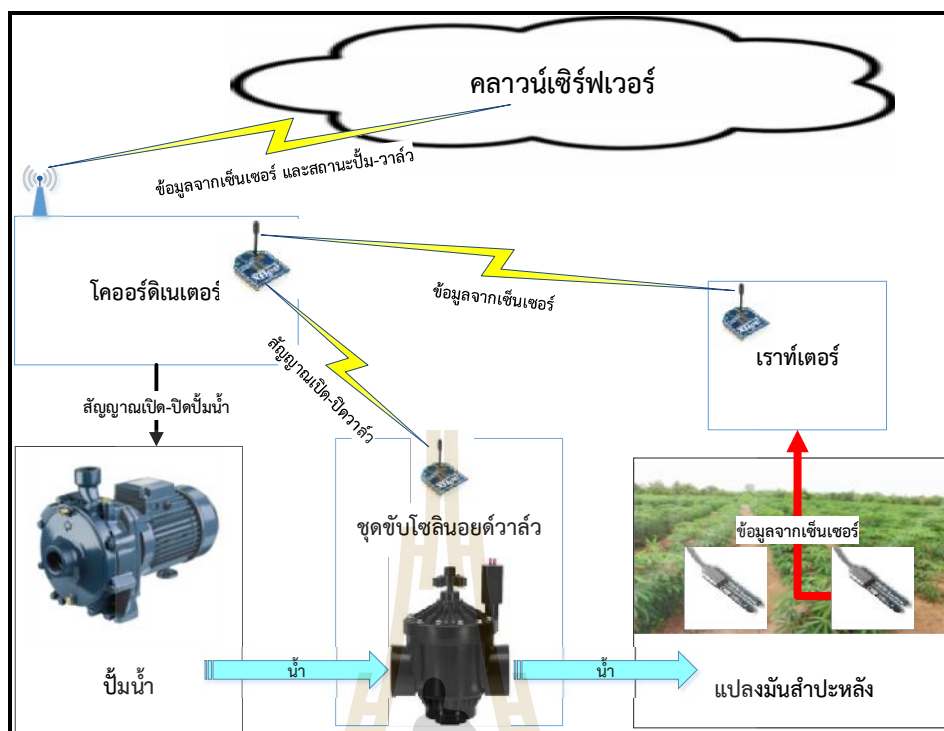
บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้งานในด้านเกษตรกรรมซึ่งต้องการตรวจสอบสภาพภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมีขนาดกว้างและอยู่ห่างไกล และในบทนี้ได้กล่าวถึง Xbee ซึ่งเป็นโมดูลส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ใช้ในการเชื่อมต่อจุดวัดต่าง ๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงทฤษฎีระบบสมองการฝังตัวและตรรกศาสตร์คลุมเครือ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของระบบควบคุมการให้น้ำแก่ไร่นาสำปะหลังแบบอัตโนมัติโดยมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจคือค่าสภาพแวดล้อมในพื้นที่เพาะปลูกที่ได้รับจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย วิธีการดำเนินงานวิจัยจะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟิซซีลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลัง โดยแบ่งออกเป็นการออกแบบทางฮาร์ดแวร์และการออกแบบทางซอฟต์แวร์ โดยในการออกแบบทางฮาร์ดแวร์จะกล่าวถึงการสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองเพาะปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งมีการสร้างเครือข่ายไร้สายด้วยโมดูล Xbee และทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ อาทิเช่น เซ็นเซอร์ต่าง ๆ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และโมดูลกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย เพื่อการสื่อสารและส่งข้อมูลระหว่างโหนด รวมถึงการส่งข้อมูลขึ้นสู่เครือข่ายคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อความสะดวกในการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนในการออกแบบทางซอฟต์แวร์จะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ฟิซซีลอจิกซึ่งใช้ค่าสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในบริเวณแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังเป็นอินพุตในการตัดสินใจในการควบคุมปั้มน้ำเพื่อจ่ายน้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูกมันสำปะหลัง แผนภาพการทำงานของระบบที่ออกแบบขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้น

3.2 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

เนื่องจากระบบของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟิสิกส์ลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นามันสำปะหลังประกอบไปด้วยการทำงานร่วมกันของโหนดย่อยต่าง ๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบพีซีโดยแบ่งออกเป็น การออกแบบฮาร์ดแวร์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดเราท์เตอร์ การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ และการออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดขับเคลื่อนวาล์ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

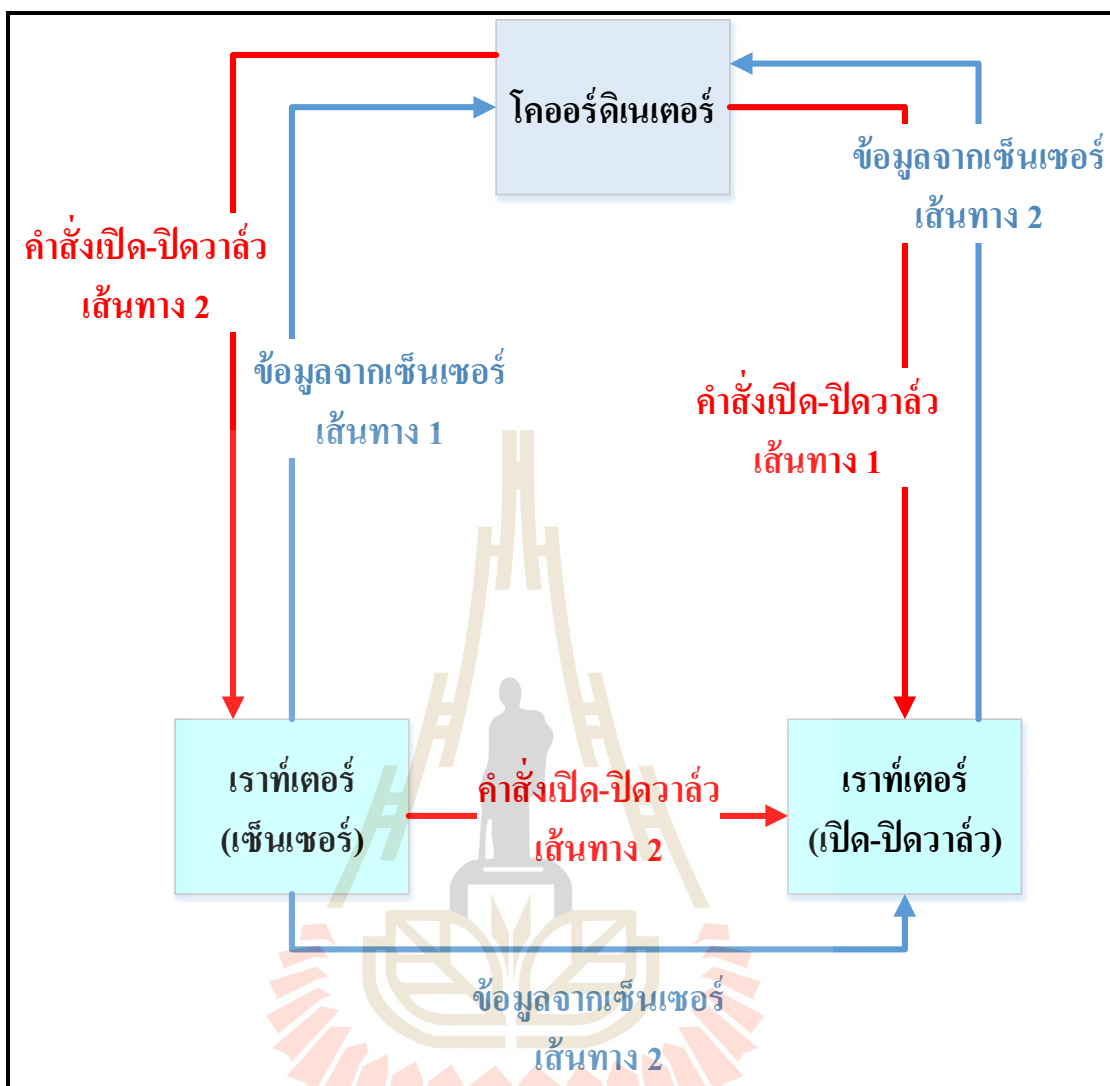
3.2.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม โดยในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้การเชื่อมต่อผ่านโมดูล Xbee ย่านความถี่ 2.4 GHz ด้วยเครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโหนดเราท์เตอร์ (Router) ทุกตัวสามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรง ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดของระบบได้ดี และถ้าหากโหนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรง ก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงผ่านไปยังเครื่องที่ต้องการสื่อสารได้ ระบบ

ควบคุมการทำงาน ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32F407VGT6 ARM 32 bits CortexTM M3 หรือเรียกว่าบอร์ด STM32F4 Discovery ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม Matlab Simulink ได้ โดยมีการใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากการเขียนโปรแกรมเชิงกราฟฟิก ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกับโปรแกรม MATLAB

งานวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์ และโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบริเวณเพาะปลูกมันสำปะหลัง และส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งโหนดที่ใช้เก็บข้อมูลจะถูกเรียกว่าโหนดเราท์เตอร์ (Router) และโหนดที่ทำการรับข้อมูลจากโหนดเราท์เตอร์และส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์จะถูกเรียกว่าโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) รวมถึงมีโหนดสำหรับรับคำสั่งในการเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์วบริเวณแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังอีกด้วย แผนภาพการเชื่อมโยงโหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นด้วยเครือข่ายแบบเมชแสดงในรูปที่ 3.2



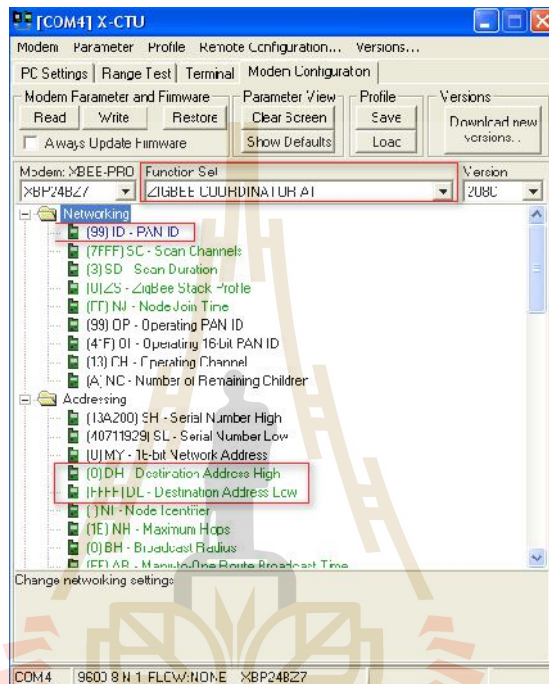


รูปที่ 3.2 การเชื่อมโยงโหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบเมชที่ออกแบบขึ้น

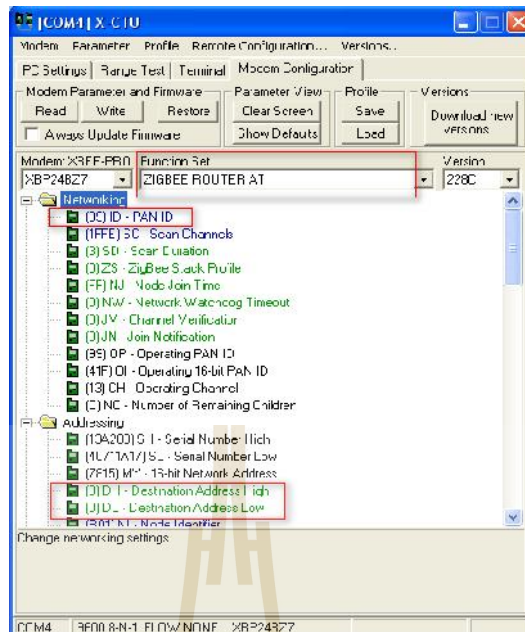
จากแผนภาพการทำงานในรูปที่ 3.2 จะสังเกตว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบเมชนั้นทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดมีมากกว่า 1 เส้นทางซึ่งโมดูล Xbee จะเลือกส่งข้อมูลในเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยอัตโนมัติ

3.2.1.1 การกำหนดค่าพื้นฐานในการทำงานของ Xbee

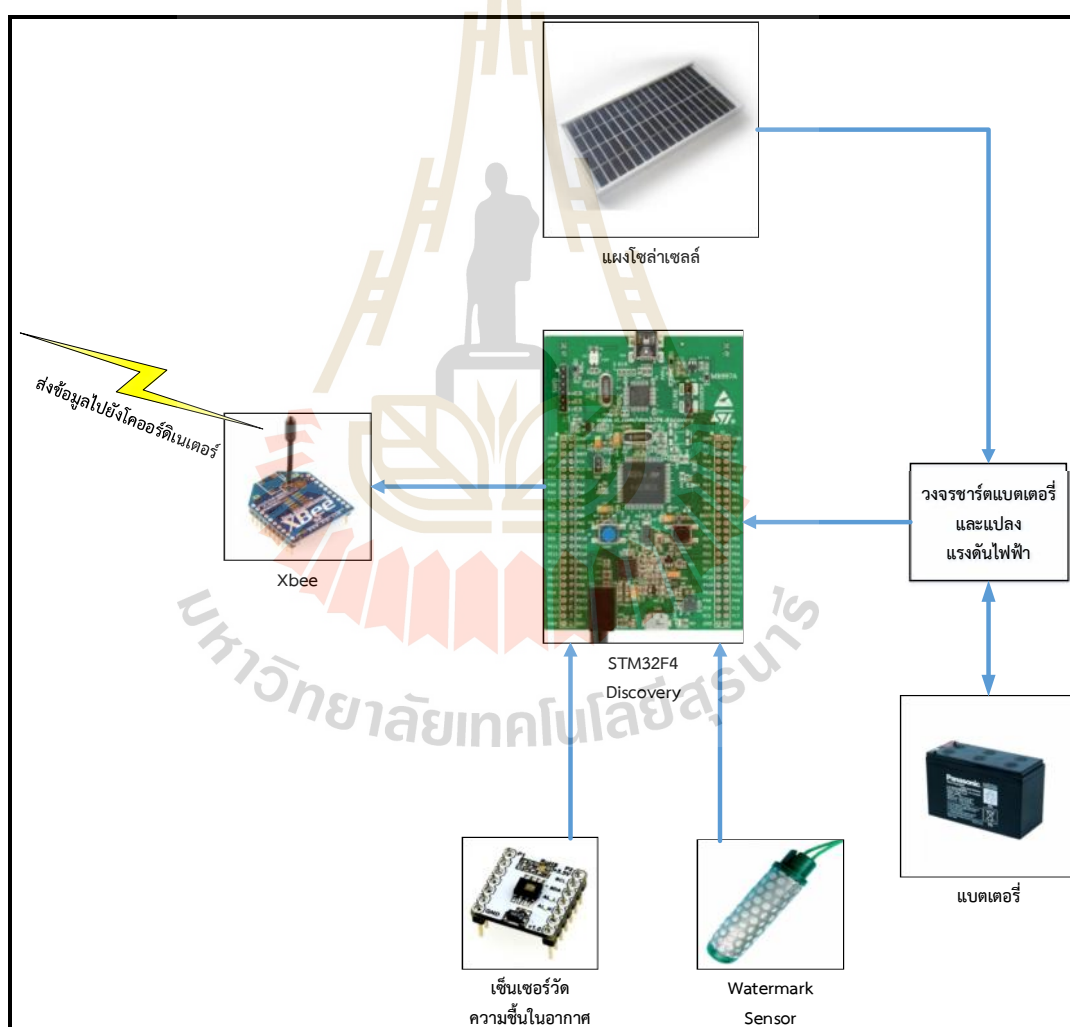
ในการสร้างเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบเมชด้วยโมดูล Xbee จะต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับโมดูล Xbee งานวิจัยนี้ได้ใช้ Xbee 1 ตัวทำหน้าที่เป็นโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ คือทำหน้าที่เป็นตัวหลักหรือสถานีฐาน และอีก 2 ตัว ทำหน้าที่เป็นโหนดเราเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็น โหนดเซ็นเซอร์และโหนดควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยวิธีการตั้งค่าโมดูล Xbee เพื่อ



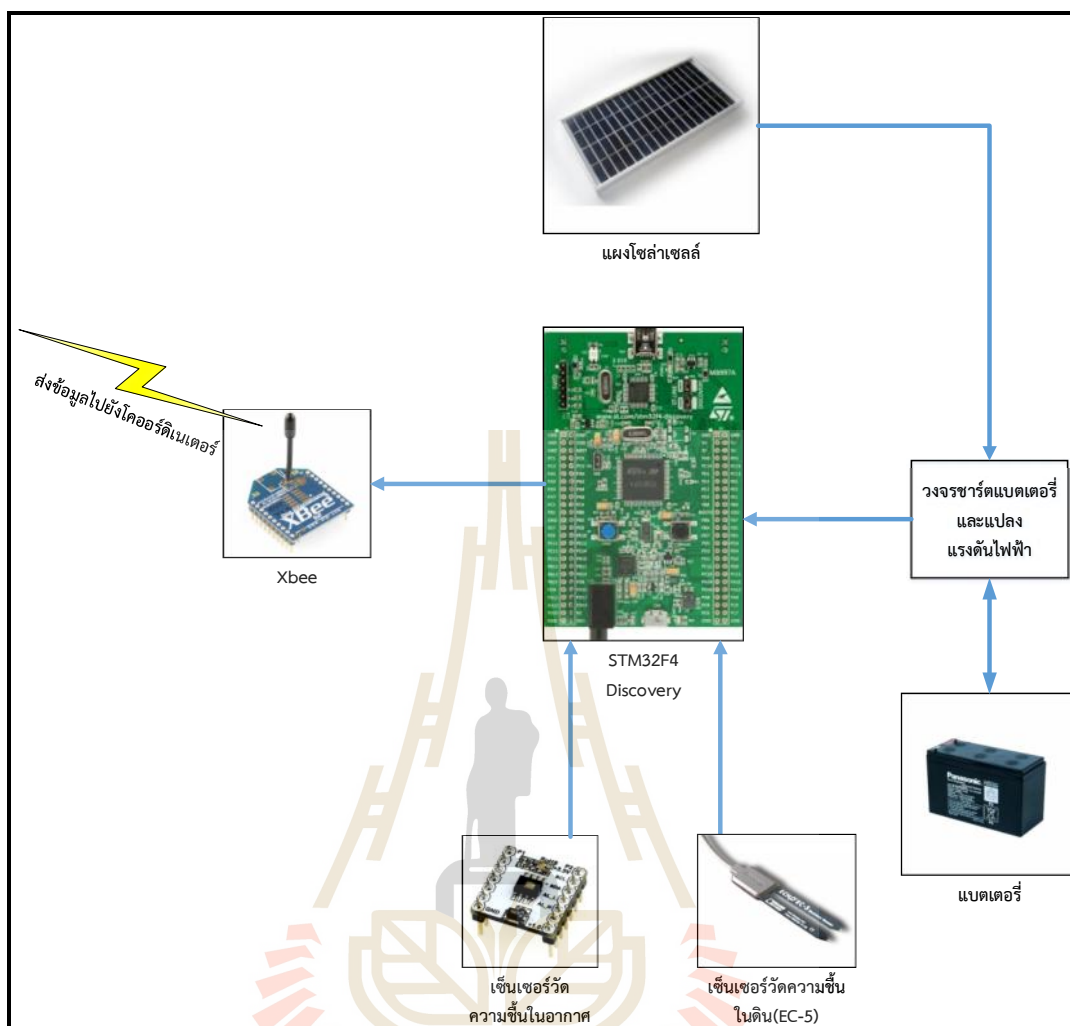
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นอกจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ของโหนดเร้าเตอร์ทั้งสองแบบยังเชื่อมต่อกับโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee ผ่านพอร์ตอนุกรม เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์ที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโหนดเร้าเตอร์ สำหรับไฟเลี้ยงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ระบบใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยมีแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 10 วัตต์จำนวน 1 แผงต่อกับวงจรชาร์จแบตเตอรี่และคงค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีขนาด 5 โวลต์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีแบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ความจุ 7.1 แอมป์ต่อชั่วโมงจำนวน 1 ก้อน สำหรับสำรองไฟเพื่อใช้งานในเวลากลางคืนอีกด้วย แผนภาพการออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเร้าเตอร์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเร้าเตอร์แบบที่ 1



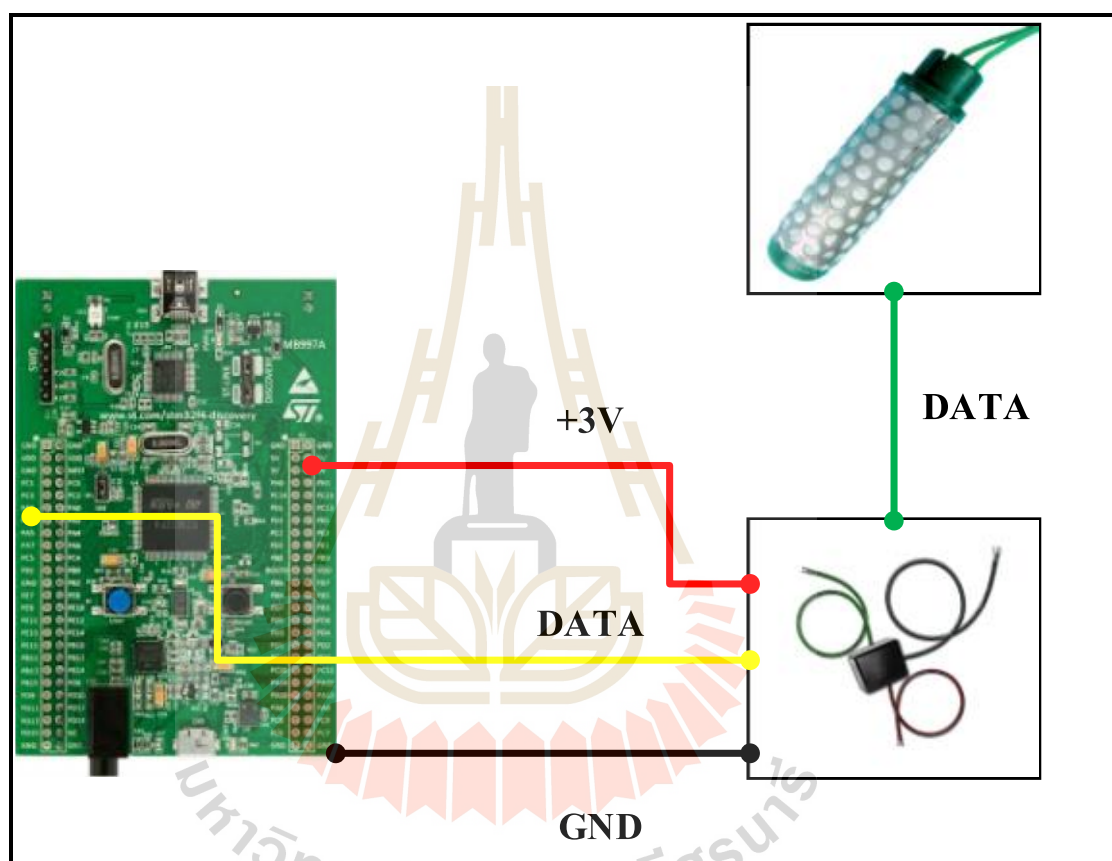
รูปที่ 3.6 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดเร้าเตอร์แบบที่ 2

หน้าที่หลักของโหนดเร้าเตอร์คือการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง จากนั้นโหนดเร้าเตอร์จะส่งข้อมูลที่อ่านได้ไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อประมวลผลต่อไป ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ของโหนดเร้าเตอร์จึงต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

3.2.2.1 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดศักย์ของน้ำในดินกับโหนดเร้าเตอร์

การเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดินนั้นไม่สามารถเชื่อมต่อกันโดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องเชื่อมต่อผ่านวงจรอ่านค่าศักย์ของน้ำในดิน w 200SS-VA ซึ่งจะเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดินและจากนั้นจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 โวลต์ จนถึง 2.8 โวลต์

วงจรอ่านค่าศักย์ของน้ำในดินจากเซ็นเซอร์มีขาสัญญาณ 3 ขาคือไฟเลี้ยงเซ็นเซอร์กราวด์ และขาวัดสัญญาณซึ่งต้องต่อกับพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ รูปที่ 3.7 แสดงการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ค่าศักย์ของน้ำในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery

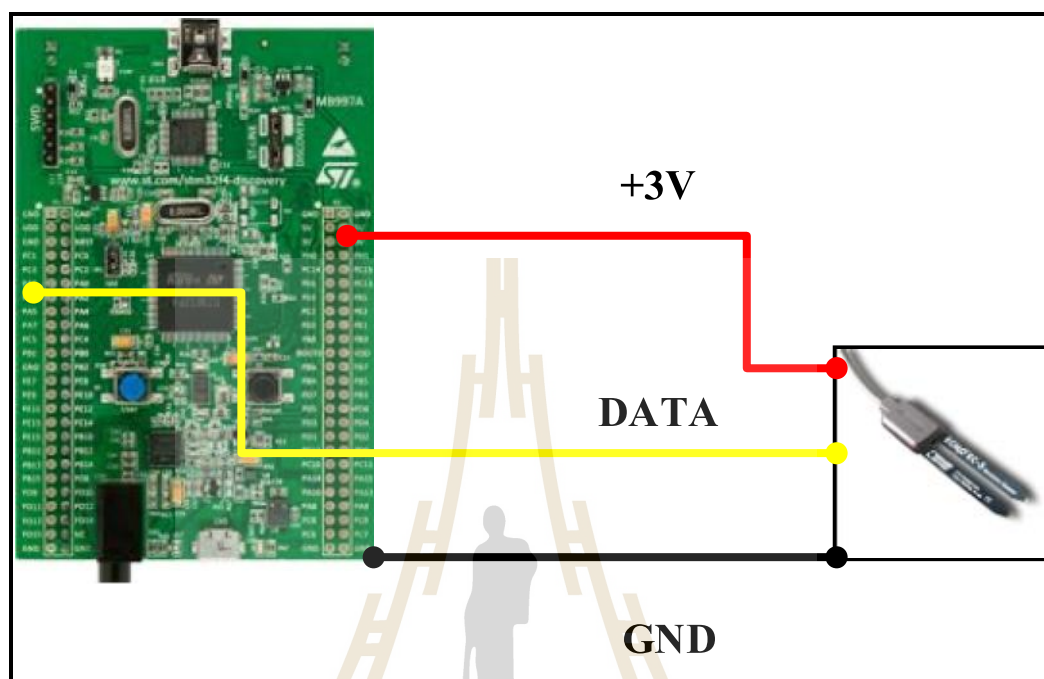


รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery

3.2.2.2 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับโหนดเรทเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ เซนเซอร์วัดความชื้นในดินจะถูกใช้ในการวัดค่าความชื้นของดินในบริเวณแปลงทดลองเพาะปลูกมันสำปะหลัง โดยต้องทำการเชื่อมต่อขาสัญญาณจากเซ็นเซอร์ทั้งหมด 3 ขาคือ ไฟเลี้ยงเซ็นเซอร์ กราวด์ และขาวัดสัญญาณซึ่งต้องต่อกับพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อ

กำหนดพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ รูปที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินกับบอร์ด STM32F4 Discovery

โดยที่สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซ็นเซอร์จะเป็นสัญญาณแบบแอนะล็อก จึงต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้การเข้ารหัสข้อมูลขนาด 12 บิต แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยทำการทดลองวัดค่าความชื้นในดินที่ระดับความชื้นที่แตกต่างกัน

การวัดค่าความชื้นในดินมีการเปรียบเทียบค่าความชื้นที่วัดได้ในหน่วยของแรงดันกับวิธีการวัดดินโดยน้ำหนัก (Gravimetric Method) [20] ซึ่งเป็นการวัดโดยตรงจากการเก็บตัวอย่างดินมาชั่งน้ำหนักแล้วทำการอบดินที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส แล้วนำดินที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการหาความชื้นโดยมวล ระดับความชื้นโดยมวล (Mass Water Content) คือ สัดส่วนระหว่างมวลของน้ำกับมวลของดินแห้งซึ่งบรรจุน้ำจำนวนนั้นอยู่

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \quad (3.1)$$

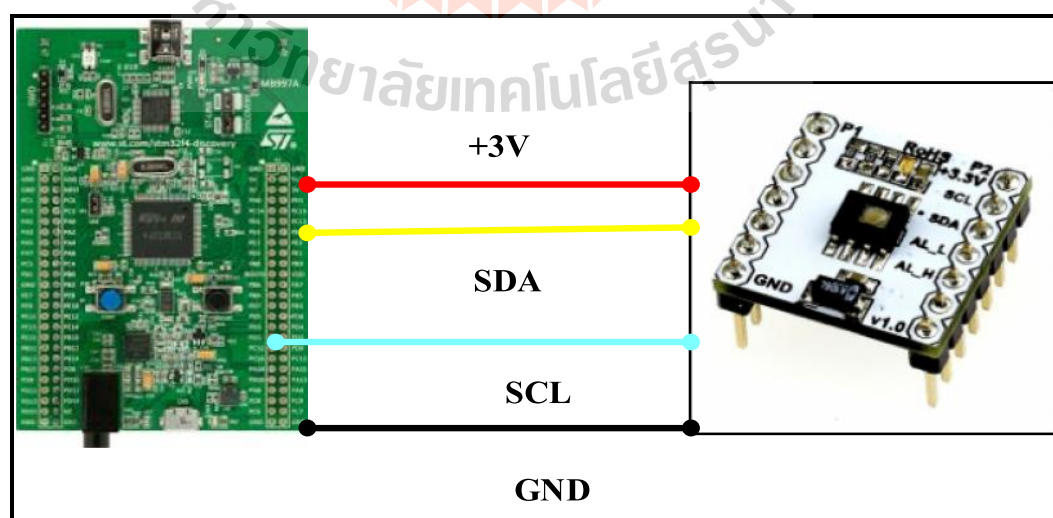
เมื่อนำค่าความชื้นในดินที่ได้จากวิธีการวัดน้ำหนักเทียบกับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ($H(V)$) และใช้สมการเพื่อปรับค่าความชื้นในดินให้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ใกล้เคียงกับค่าความชื้น โดยมวดังสมการที่ 3.2 [20] ซึ่งจากการปรับเทียบจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 9.49 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ความชื้นในดิน} = 18 \times H(V) + 6 \quad (3.2)$$

3.2.2.3 การเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกับบอร์ดเราเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เซนเซอร์ aMG Sense - Humidity / Temperature ซึ่งเป็นโมดูลเซนเซอร์ที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศได้ โดยเซนเซอร์ดังกล่าวใช้ IC ของ Honeywell เบอร์ HIH6131 ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล และทำการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ด้วยการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (I2C)

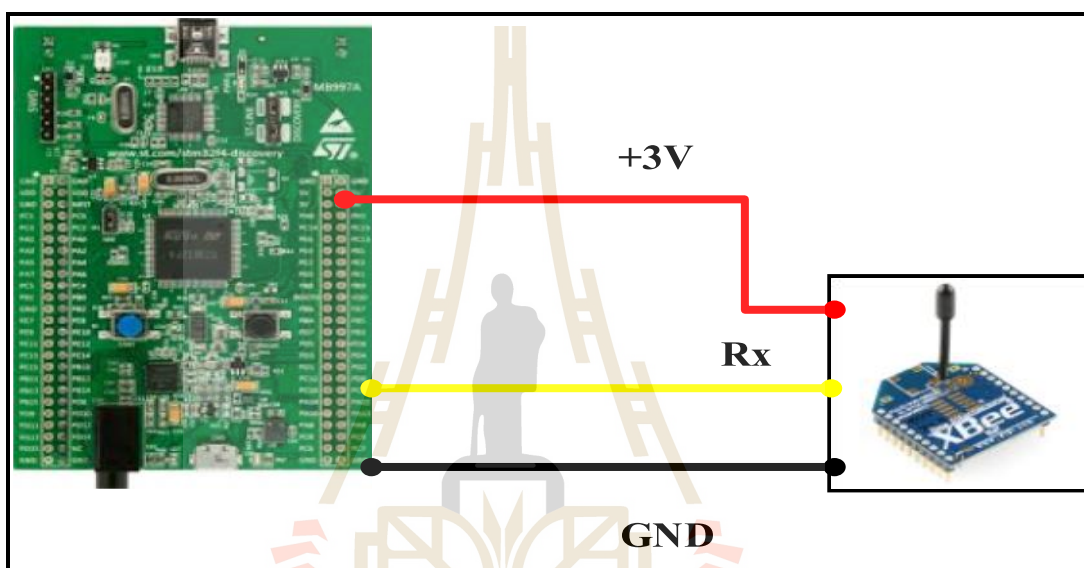
ในการเชื่อมต่อเซนเซอร์ aMG Sense - Humidity / Temperature เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ต้องทำการเขียนโปรแกรมกำหนดขาสัญญาณ SCL หรือสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ I2C และกำหนดขาสัญญาณ SDA หรือขารับส่งข้อมูลแบบ I2C และเชื่อมต่อขาสัญญาณทั้งสองเข้ากับเซนเซอร์ นอกจากนั้นยังต้องเชื่อมต่อขาไฟเลี้ยงเซนเซอร์ซึ่งเป็นแรงดันขนาด +3 โวลต์และขาราวด์เข้ากับโมดูลเซนเซอร์อีกด้วย ซึ่งการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศกับบอร์ด STM32F4 Discovery

3.2.2.4 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเราเตอร์

การเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery ของโหนดเราเตอร์ สามารถทำได้โดยการต่อขาไฟเลี้ยงซึ่งมีขนาด +3 โวลต์ ต่อขาราวด์ และต่อขาสัญญาณ Rx ของโมดูล Xbee เข้ากับขาสัญญาณ Tx ของบอร์ด STM32F4 Discovery โดยต้องเขียนโปรแกรมกำหนดพอร์ตที่ต้องการเชื่อมต่อแบบอนุกรมและ กำหนดบอดเรตเท่ากับ 9600 bps การเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเราเตอร์

3.2.2.5 การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับโหนดเราเตอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery รวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของโหนดเราเตอร์ จะใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายสองแหล่งจ่ายคือจากแบตเตอรี่ และจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้า (Solar Charger) ในการสวิตช์เลือกใช้แหล่งจ่าย ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้มีขนาดแรงดันเท่ากับ 12 โวลต์ และมีความจุเท่ากับ 7.5 แอมป์-ชั่วโมง อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าที่ได้จากจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันไปยังแบตเตอรี่และควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดในเวลากลางคืนโดยที่อุปกรณ์ควบคุมการ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 การติดตั้งโหนดเร้าเตอร์



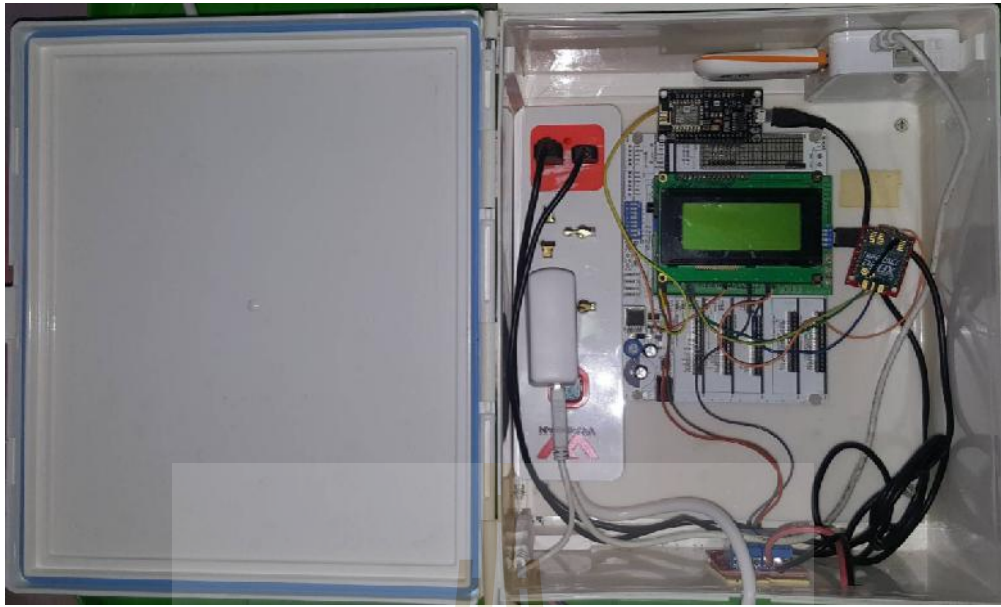
(ก)

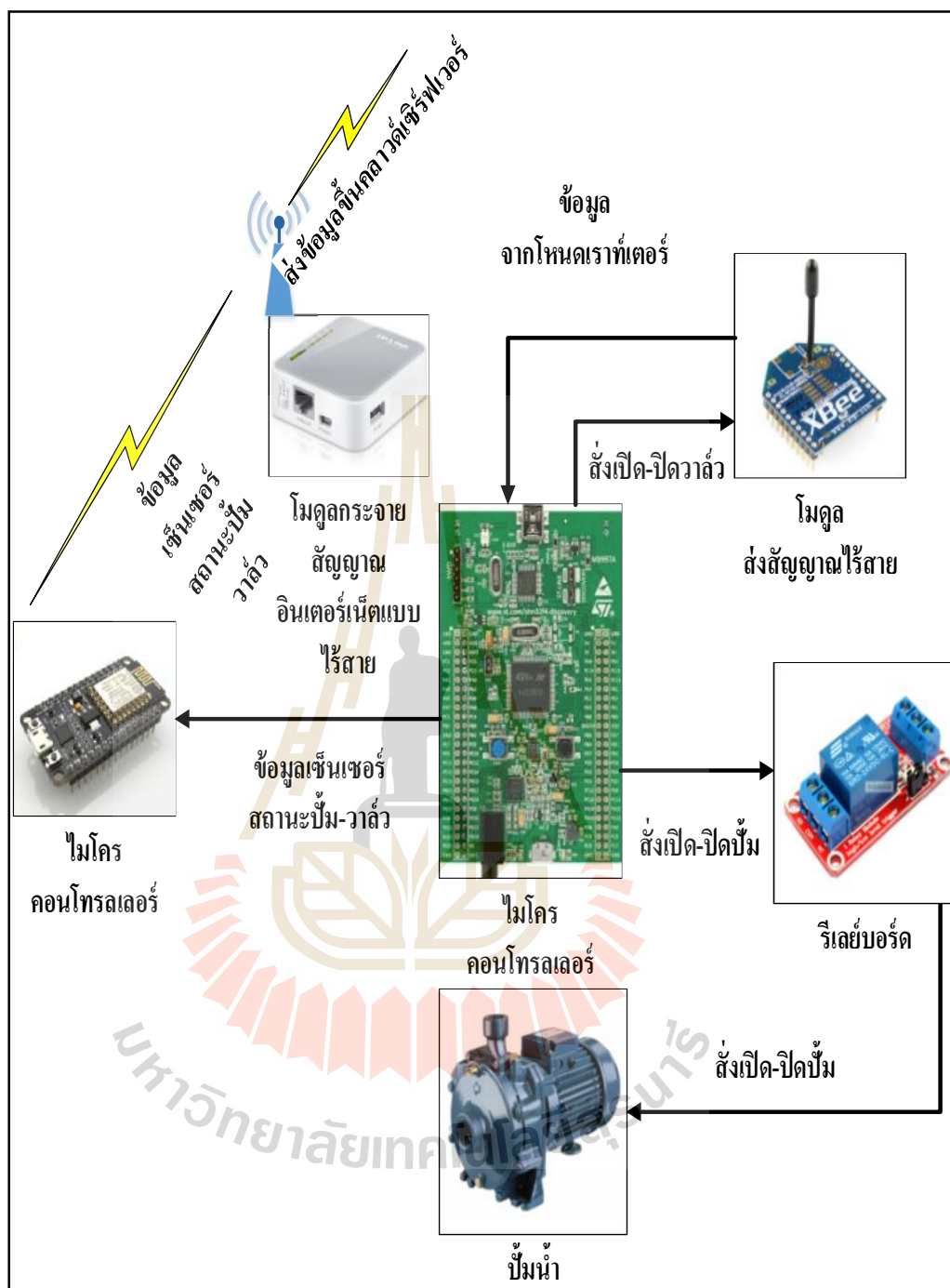


(ข)

รูปที่ 3.12 การติดตั้งเซ็นเซอร์ของโนนคเร้าเตอร์



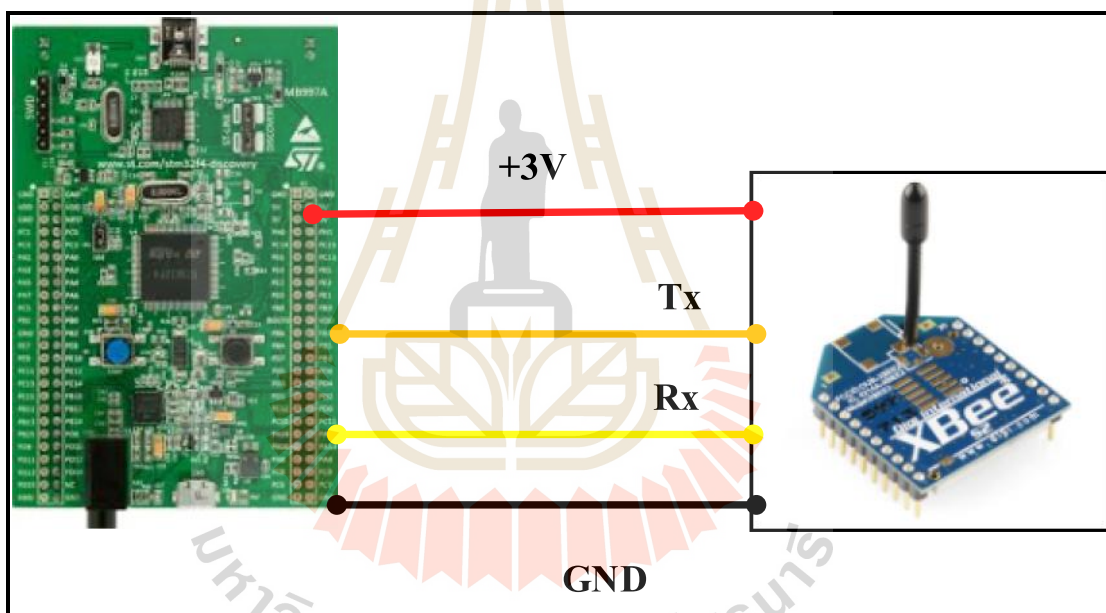




รูปที่ 3.14 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนด โคออร์ดิเนเตอร์

3.2.3.1 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

การเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ สามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อขาไฟเลี้ยงซึ่งมีขนาด +3 โวลต์ ขากราวด์ ขาสัญญาณ Rx และ Tx ของโมดูล Xbee เข้ากับขาสัญญาณ Tx และ Rx ของบอร์ด STM32F4 Discovery เนื่องจากโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ต้องรับข้อมูลเซ็นเซอร์จากโหนดเร mote และต้องทำหน้าที่ส่งคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วน้ำไปยังโหนดขับโซลินอยด์วาล์วอีกด้วย ดังนั้นจึงต้องเชื่อมต่อขาสัญญาณสองขา คือ สัญญาณ Rx และ Tx สำหรับรับและส่งข้อมูล โดยที่การเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องกำหนดพอร์ตที่ต้องการเชื่อมต่อแบบอนุกรมและ กำหนดบอดเรตเท่ากับ 9600 bps การเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery แสดงดังรูปที่ 3.15

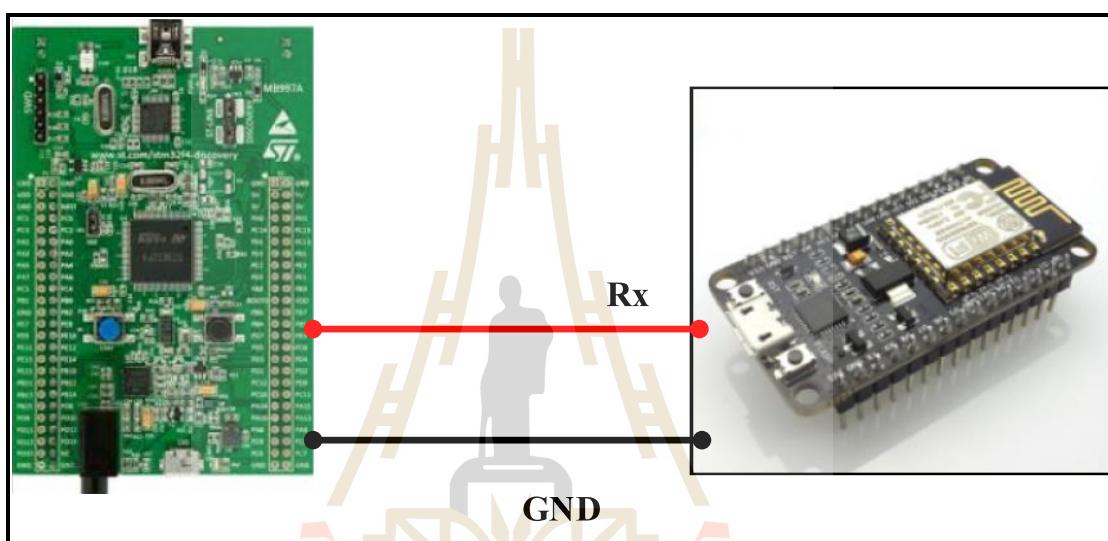


รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

3.2.3.2 การส่งข้อมูลขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์โดยใช้ NodeMCU

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์มีหน้าที่หลัก ๆ 3 หน้าที่ หน้าที่แรกคือการรับข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในแปลงที่วัดด้วยเซ็นเซอร์จากโหนดเร mote ถัดมาคือการตัดสินใจในการเปิด-ปิดปั๊มน้ำและส่งคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วน้ำให้แก่โหนดขับโซลินอยด์วาล์ว นอกจากนั้นยังมีหน้าที่หลักคือการส่งค่าสภาพแวดล้อมในแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังรวมถึงสถานะการจ่ายน้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูกขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์อีกด้วย อย่างไรก็ตามไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4

Discovery ไม่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ จึงต้องติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ซึ่งมีโมดูลรับสัญญาณ Wi-Fi อยู่บนบอร์ด จากนั้นทำการเชื่อมต่อบอร์ด STM32F4 Discovery กับ NodeMCU ให้ส่งข้อมูลหากันแบบอนุกรม จากนั้น NodeMCU จึงติดต่อกับคลาวด์ เซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงและสถานะการให้น้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังขึ้นสู่เซิร์ฟเวอร์ การเชื่อมต่อบอร์ด STM32F4 Discovery กับ NodeMCU แสดงดังรูปที่ 3.16

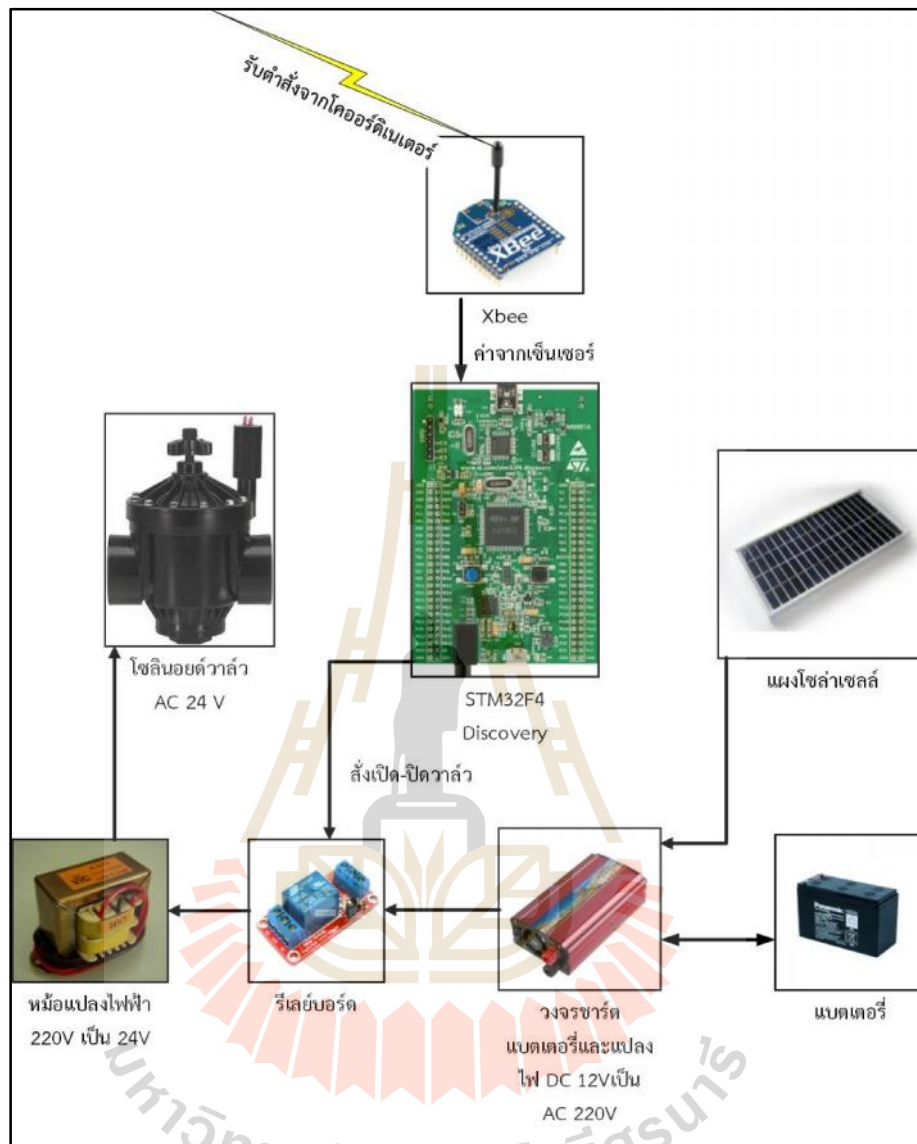


รูปที่ 3.16 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับโหนดเร้าเตอร์

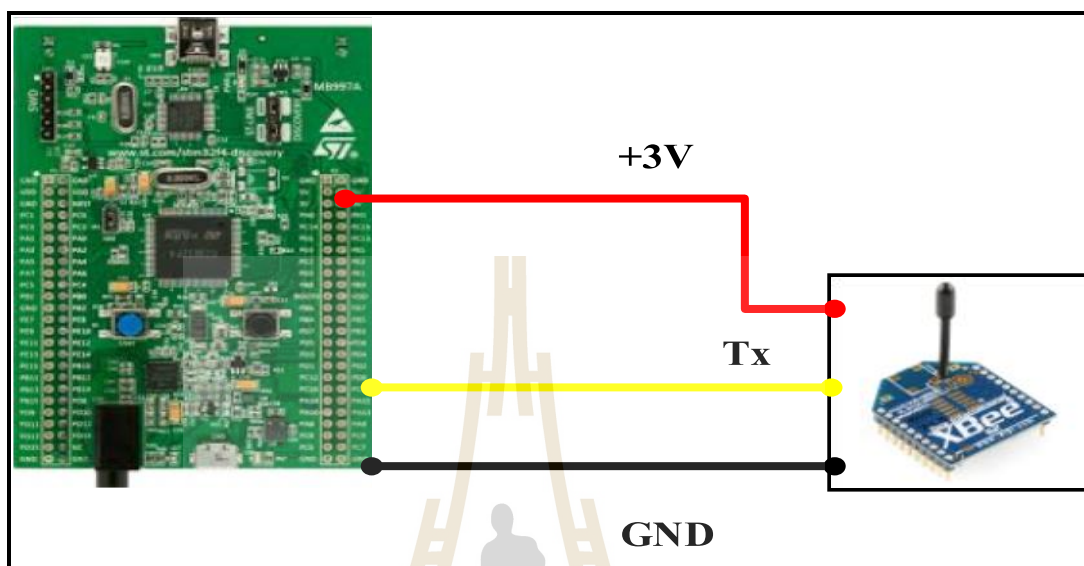
3.2.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดขับโซลินอยด์วาล์ว

ชุดขับโซลินอยด์วาล์วประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ซึ่งรับคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วจากโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ด้วยโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย Xbee ผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากนั้นจะสั่งให้โมดูลรีเลย์ทำการเปิด-ปิดวาล์วน้ำทันที โดยส่วนสำคัญของชุดขับโซลินอยด์วาล์วคือแหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 30 วัตต์ต่อกับวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ขนาด 7.1 แอมป์ต่อชั่วโมงจำนวน 2 ก้อน

โซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในงานวิจัยต้องการไฟเลี้ยงแบบกระแสสลับขนาด 24 โวลต์ จึงต้องเชื่อมต่อจากแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ให้เป็นอินพุตแกว่งจรแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสตรง 12 โวลต์เป็นกระแสสลับ 220 โวลต์ จากนั้นเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับ 220 โวลต์แปลงเป็นกระแสสลับ 24 โวลต์ เข้าสู่โซลินอยด์วาล์ว แผนภาพการออกแบบฮาร์ดแวร์ของชุดขับโซลินอยด์วาล์วแสดงดังรูปที่ 3.17



เรตเท่ากับ 9600 bps การเชื่อมต่อโมดูล Xbee เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery แสดงดังรูปที่ 3.18



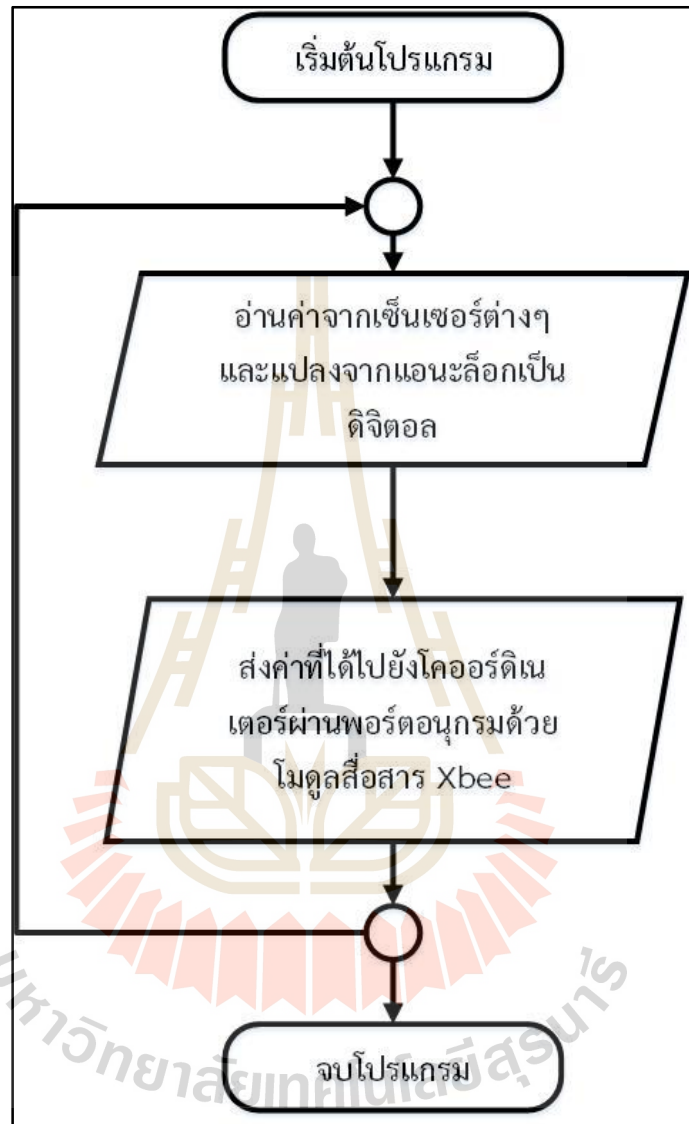
รูปที่ 3.18 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3 การออกแบบทางซอฟต์แวร์

เนื่องจากระบบของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟิชีลอจิกสำหรับระบบการชลประทาน ในโรมันสำปะหลังประกอบไปด้วยการทำงานร่วมกันของโหนดย่อยต่าง ๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายการออกแบบซอฟต์แวร์ของระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟิชีลอจิกโดยแบ่งออกเป็น การออกแบบซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ การออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดขับโซลินอยด์วาล์ว การออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ฟิชีลอจิก และการออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับเปิด-ปิดน้ำด้วยสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในบริเวณแปลงทดลองเพาะปลูกมันสำปะหลัง จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงค่าจากสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และนำข้อมูลทั้งหมดที่อ่านค่าได้จากแปลง

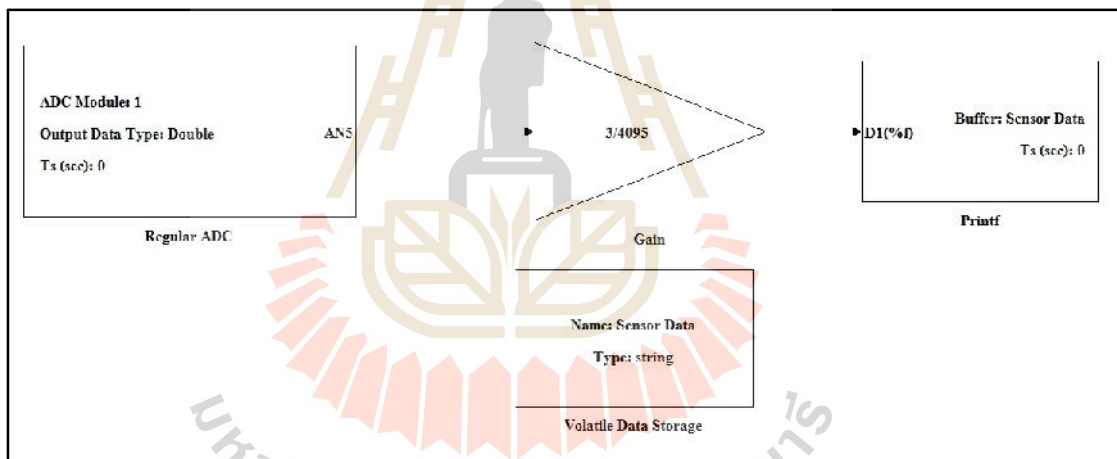


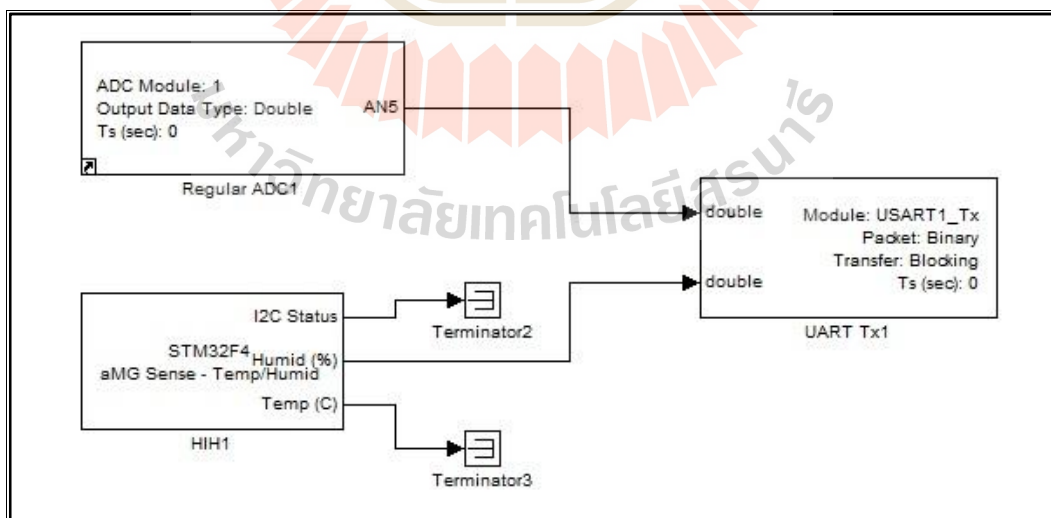
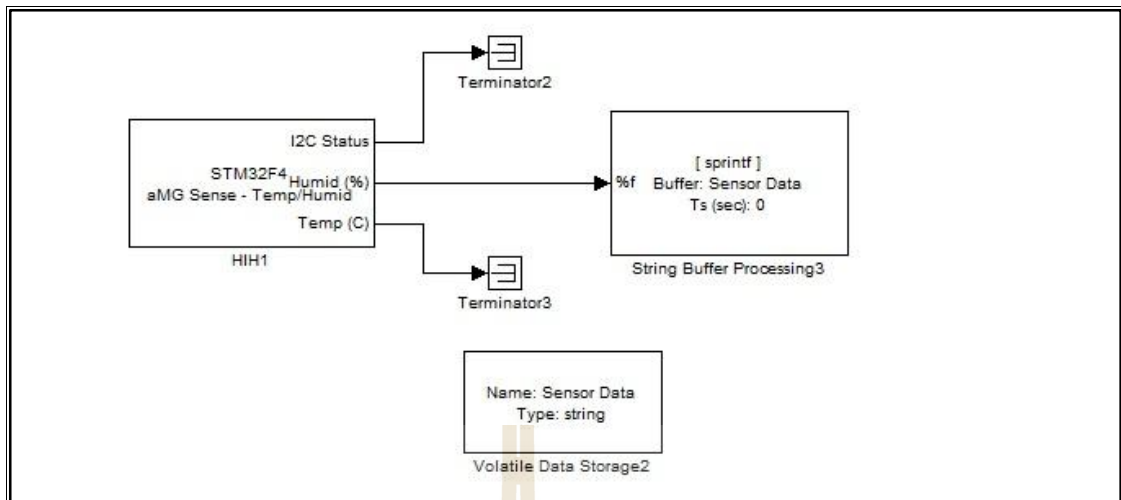
แบบฝึกหัด 1

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times}{2^{12}} = \frac{V_{in} \times}{4096}$$

V_{in} คือ สัญญาณ

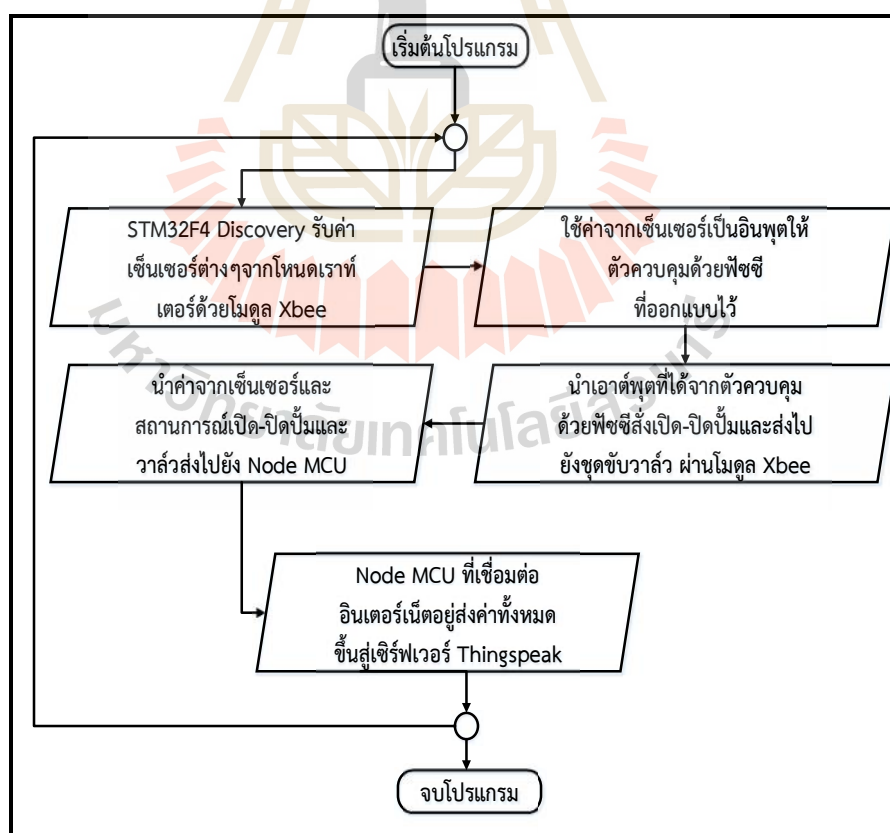
V_{out} คือ ระยะเวลา



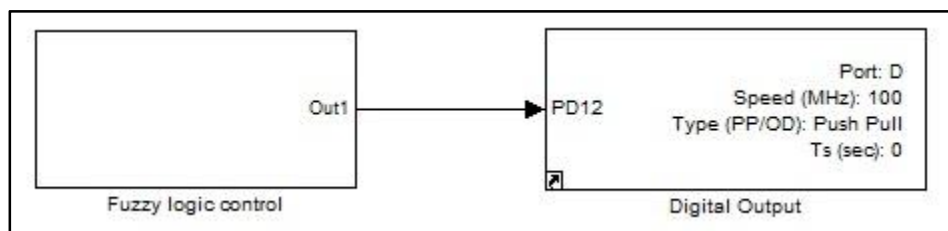
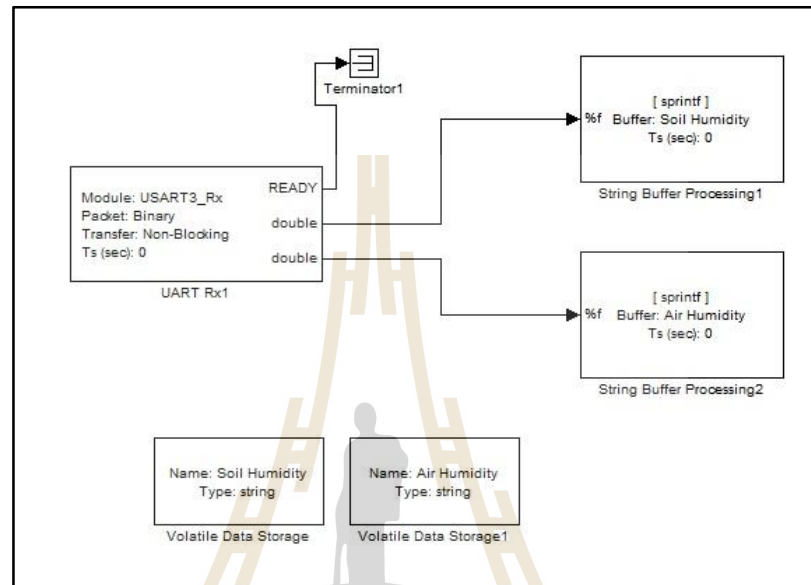


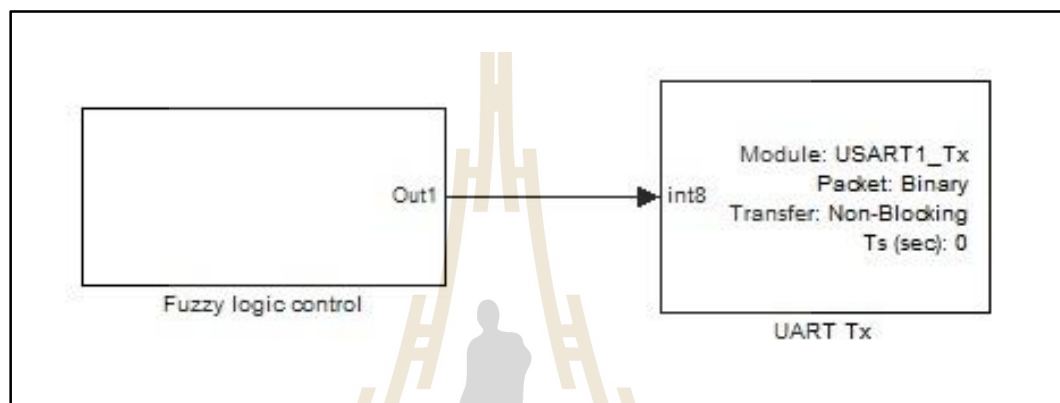
3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์

ในการทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลหลักของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์จะรับค่าเซ็นเซอร์ต่างๆที่ส่งมาจากโหนดเรพอร์ท จากนั้นนำค่าของจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เก็บลงตัวแปรเพื่อใช้เป็นอินพุตให้แก่ตัวควบคุมการเปิด-ปิดน้ำด้วยฟิซซีลอจิกที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะอธิบายการออกแบบตัวควบคุมด้วยฟิซซีในหัวข้อถัดไป หลังจากตัวควบคุมด้วยฟิซซีประมวลผลแล้วเอาต์พุตที่ได้จะถูกแปลงเป็นคำสั่งเปิด-ปิดน้ำและส่งไปควบคุมรีเลย์ที่ต่อกับปั้มน้ำอยู่พร้อมทั้งถูกส่งไปยังชุดควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ดังนั้นถ้าฟิซซีตัดสินใจเปิดน้ำ ปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์วจะเปิดพร้อมกัน ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งหมดพร้อมทั้งสถานะในการเปิด-ปิดน้ำส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ซึ่งต่อแบบอนุกรมอยู่กับ STM32F4 Discovery จากนั้น Node MCU จะเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจากโมดูลกระจายสัญญาณไวไฟเพื่อส่งค่าทั้งหมดขึ้นไปยังเซิร์ฟเวอร์ www.thingspeak.com เพื่อเก็บข้อมูลและสามารถเฝ้าระวังระบบแบบออนไลน์ได้ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.23

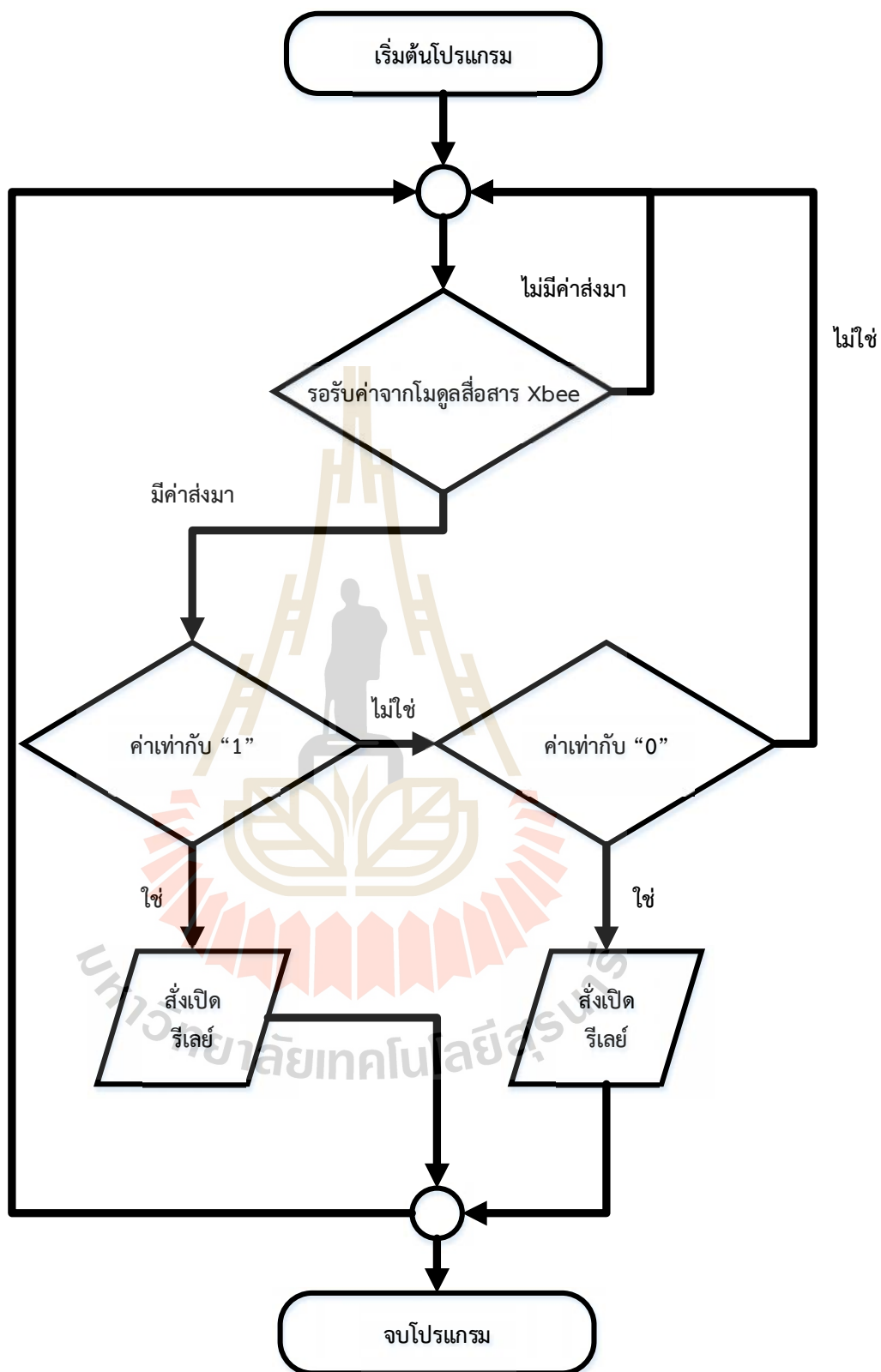


รูปที่ 3.23 การทำงานของโปรแกรมโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

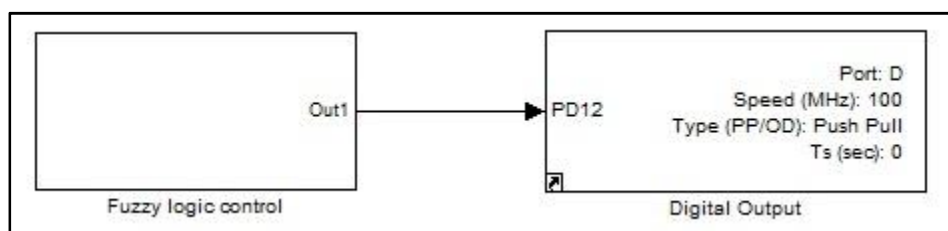
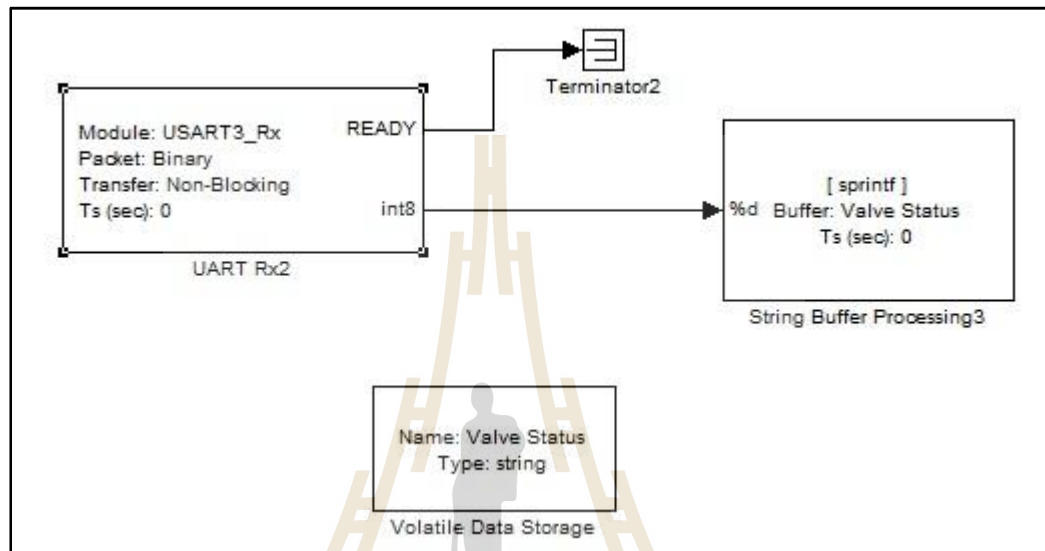


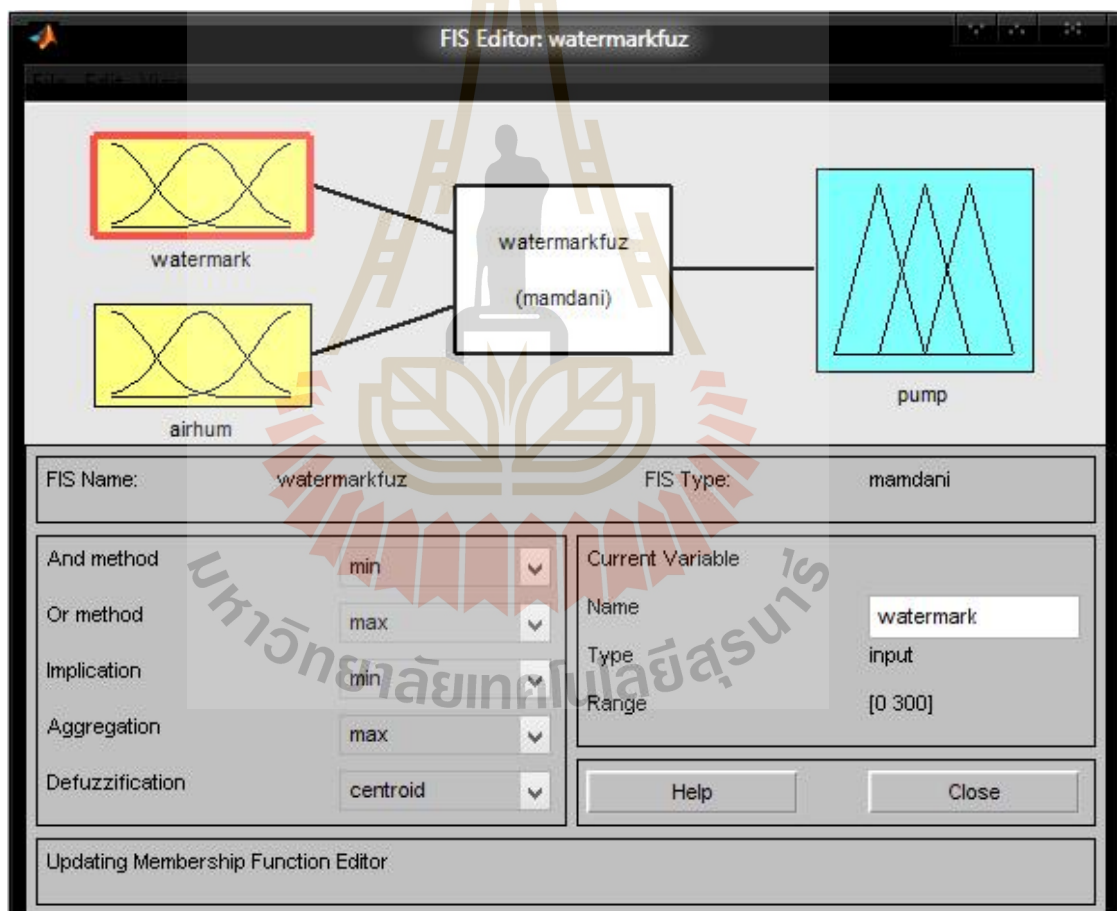


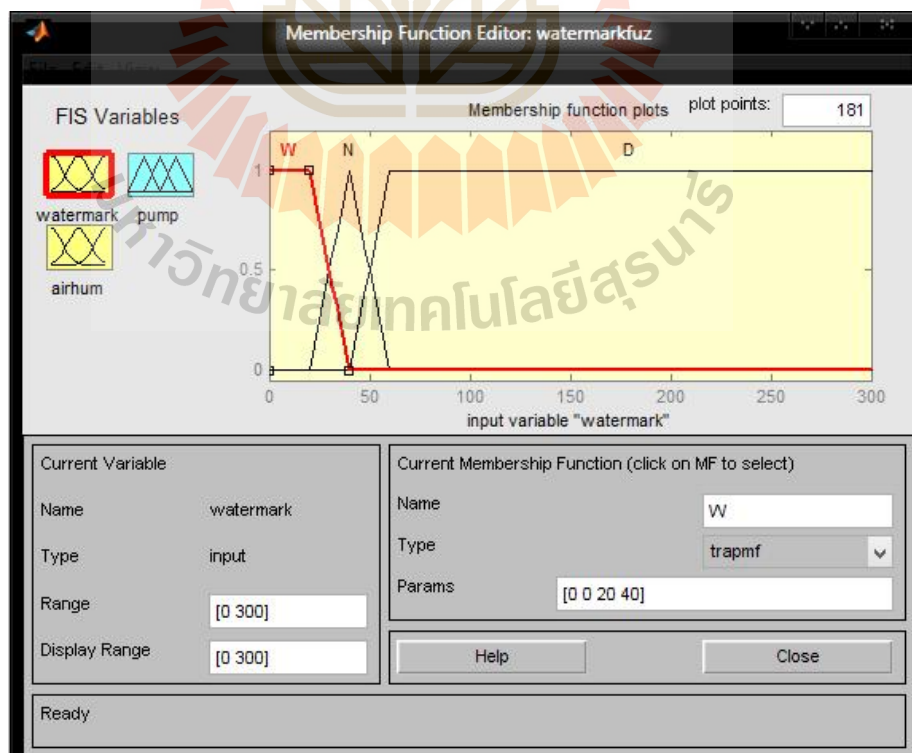
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

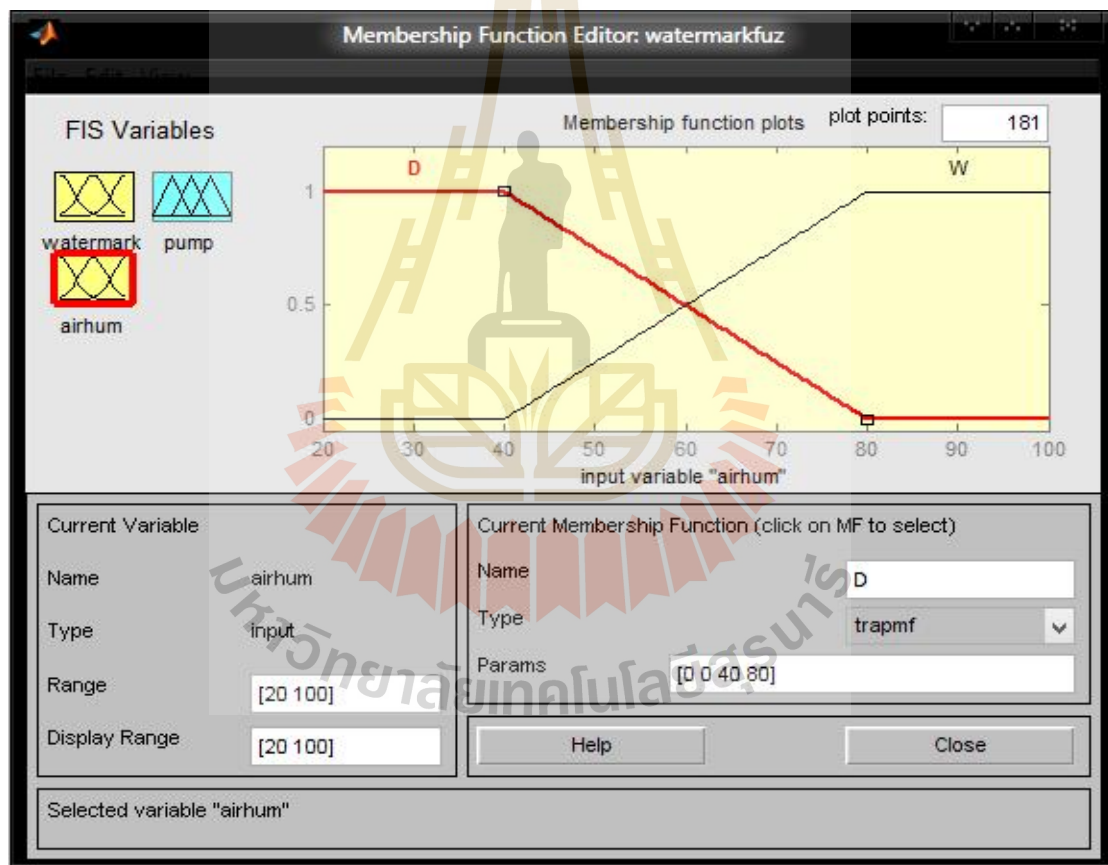


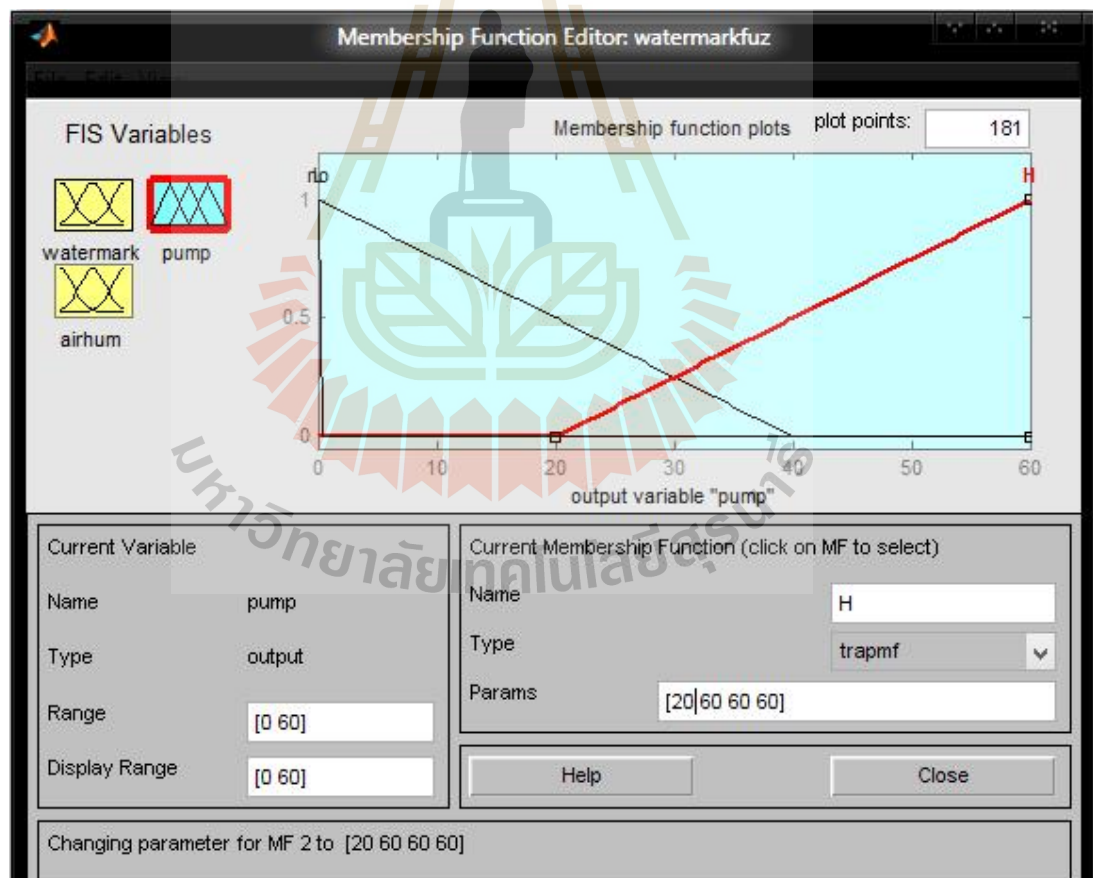
รูปที่ 3.27 การทำงานของโปรแกรมชุดขับโซลินอยด์แล้ว











ค่าศักย์ของน้ำในดิน

สูง (D)

สูง (D)

ปกติ (N)

ปกติ (N)

ต่ำ (W)

ต่ำ (W)

ค่าความชื้นในอากาศต่ำ

ต่ำ (W)

สูง (D)

ต่ำ (W)

สูง (D)

ต่ำ (W)

สูง (D)

ความต้องการน้ำ

สูง (H)

สูง (H)

สูง (H)

ต่ำ (L)

ไม่ต้องการน้ำ (NOP)

ไม่ต้องการน้ำ (NOP)

Rule Editor: watermarkfuz

1. If (watermark is D) and (airhum is D) then (pump is H) (1)
2. If (watermark is D) and (airhum is W) then (pump is H) (1)
3. If (watermark is N) and (airhum is D) then (pump is H) (1)
4. If (watermark is N) and (airhum is W) then (pump is L) (1)
5. If (watermark is W) and (airhum is W) then (pump is no) (1)
6. If (watermark is W) and (airhum is D) then (pump is no) (1)

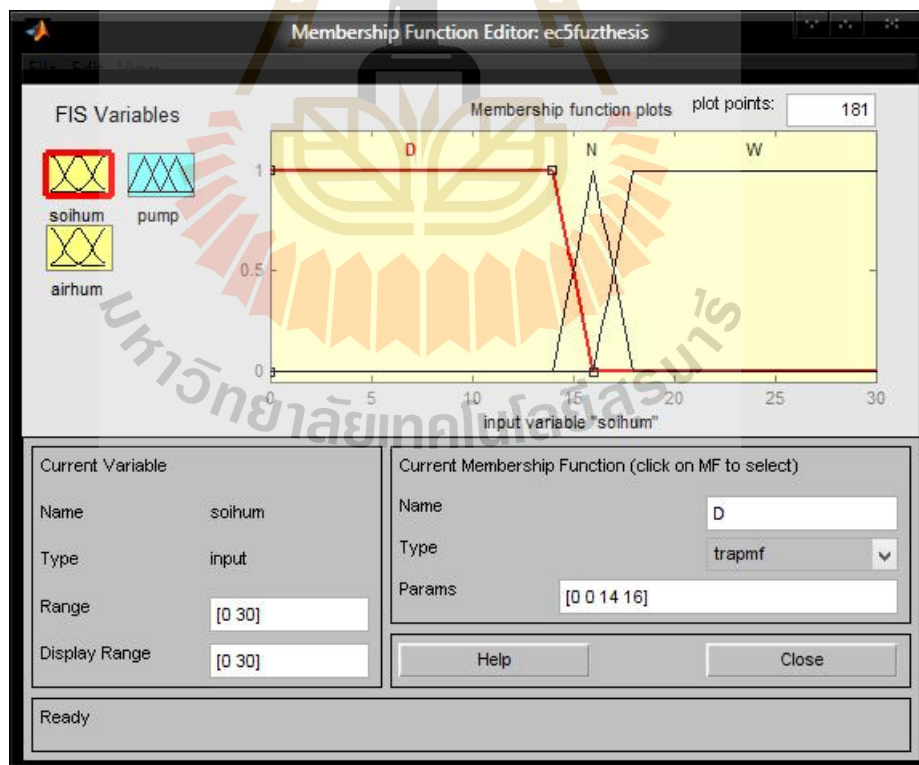
If watermark is and airhum is Then pump is

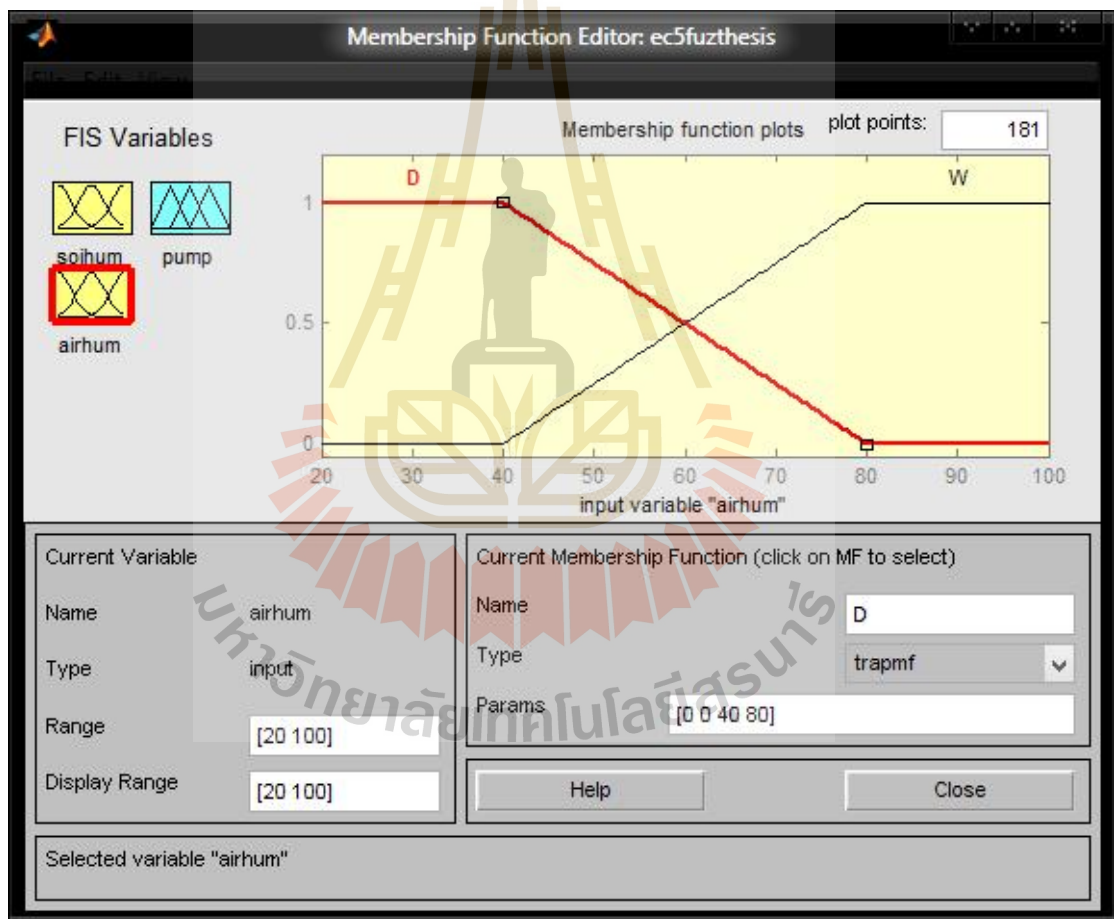
☐ not ☐ not ☐ not

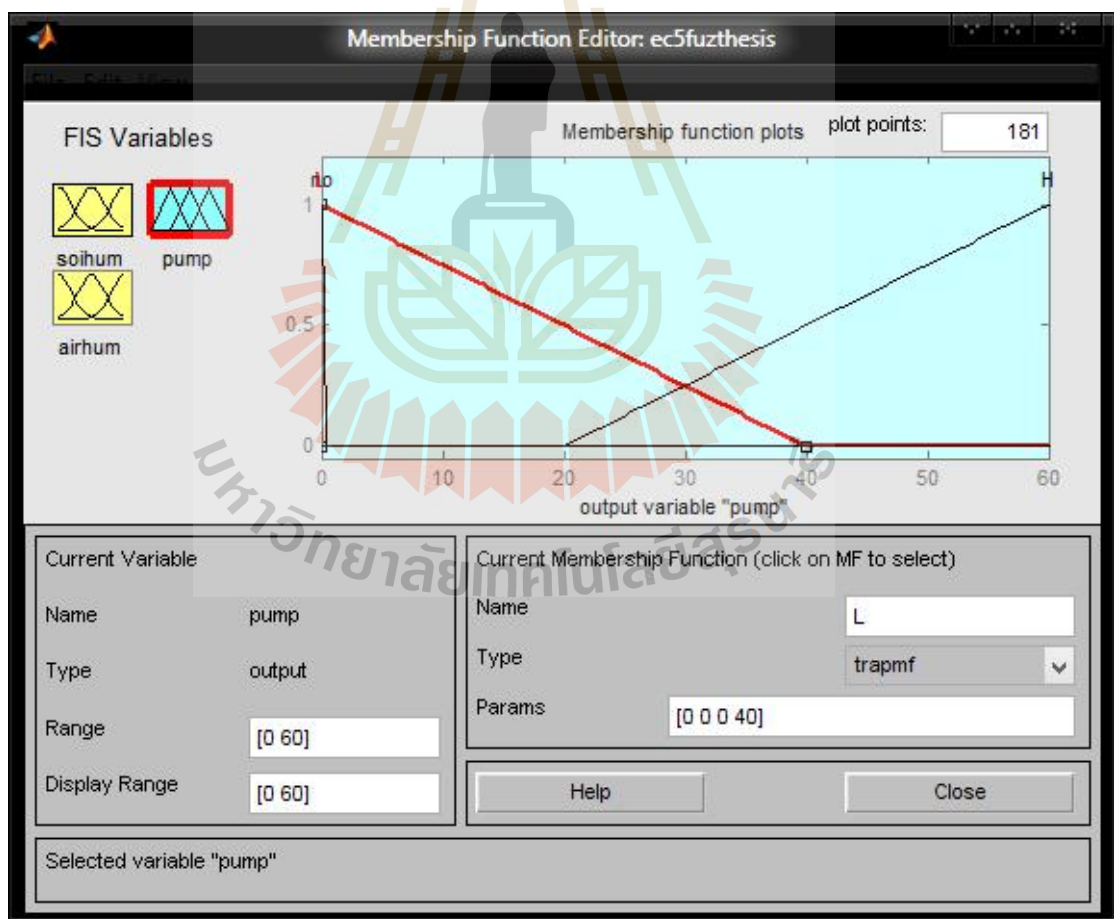
Connection: ☐ or ☒ and Weight:

Delete rule Add rule Change rule

FIS Name: watermarkfuz Help Close







ค่าความชื้นในดิน

สูง (D)

สูง (D)

ปกติ (N)

ปกติ (N)

ต่ำ (W)

ต่ำ (W)

ค่าความชื้นในอากาศต่ำ

ต่ำ (W)

สูง (D)

ต่ำ (W)

สูง (D)

ต่ำ (W)

สูง (D)

ความต้องการน้ำ

สูง (H)

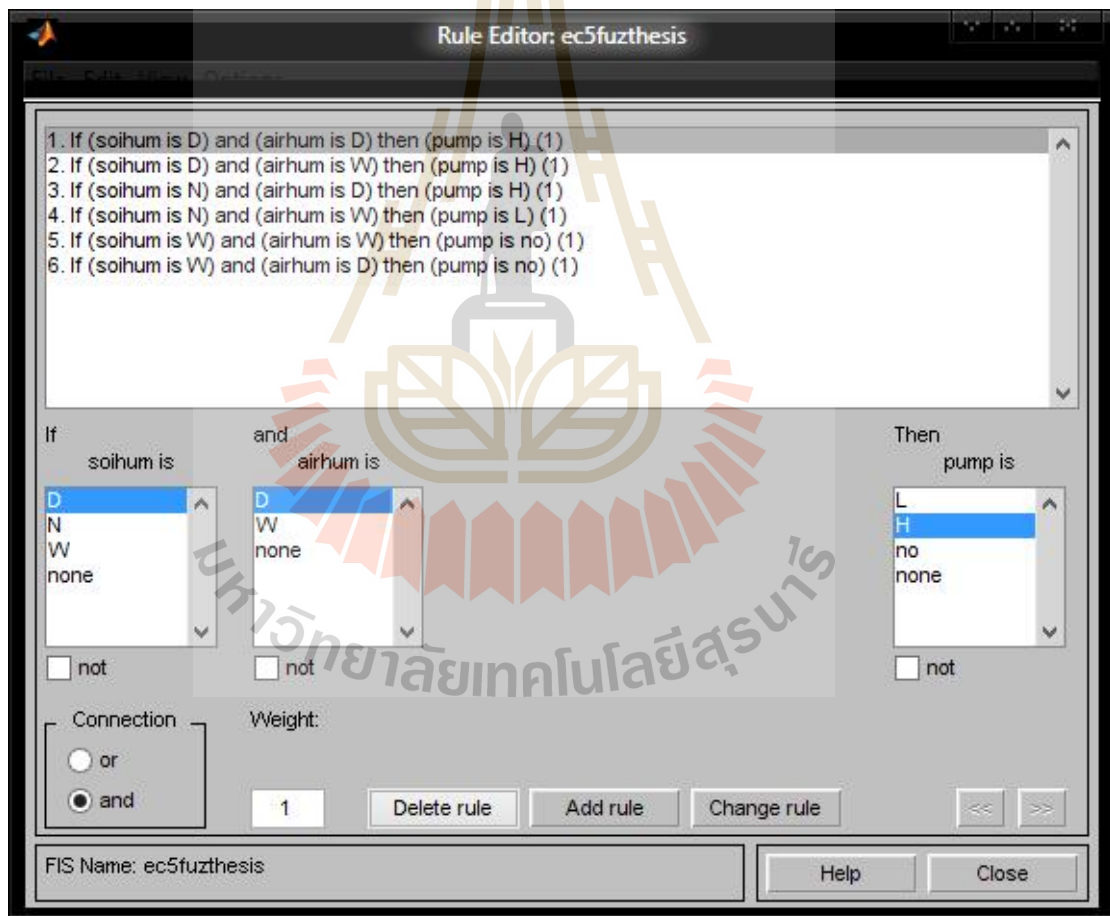
สูง (H)

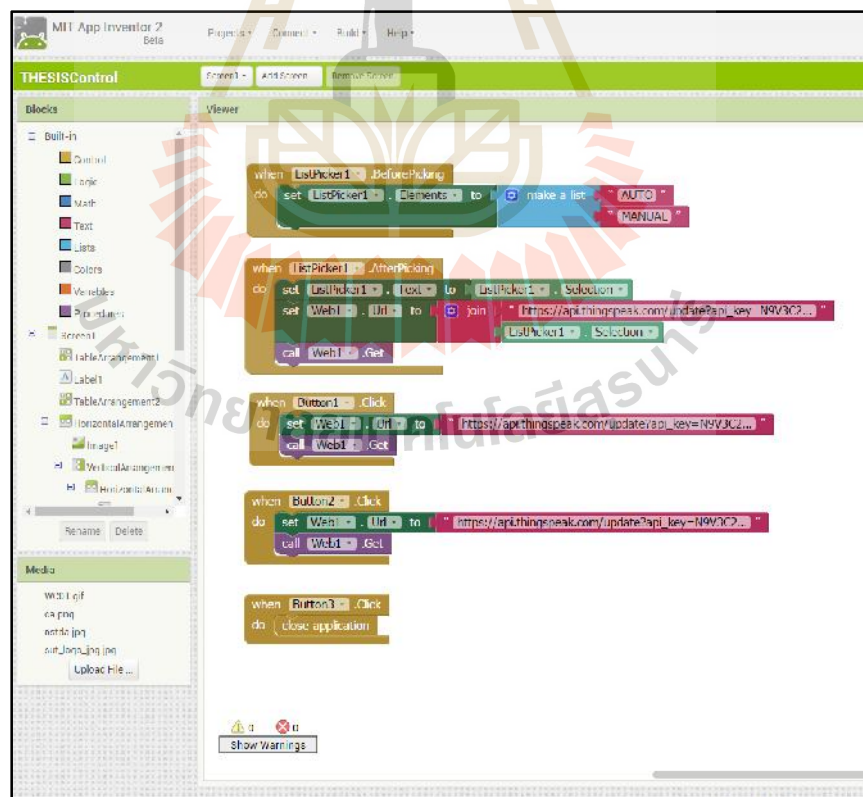
สูง (H)

ต่ำ (L)

ไม่ต้องการน้ำ (NOP)

ไม่ต้องการน้ำ (NOP)

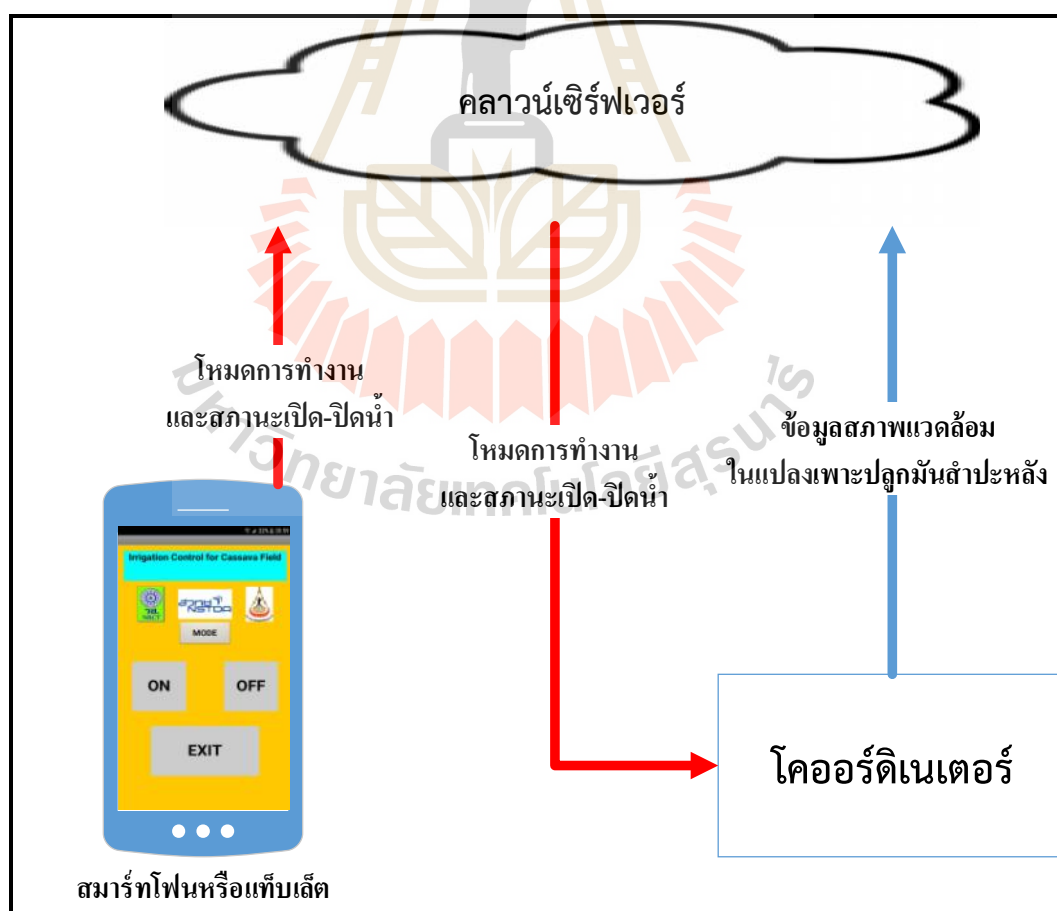




แอปพลิเคชันที่ออกแบบขึ้นจะต้องทำการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและมีปุ่มกดสำหรับเลือกโหมดการทำงานโดยมีจำนวน 2 โหมดดังนี้

โหมดที่ 1 โหมดอัตโนมัติ (Auto) คือการเปิด-ปิดน้ำจะขึ้นอยู่กับผลการตัดสินใจของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ฟuzzyลอจิกสำหรับระบบการชลประทานในไร่นาสำปะหลังที่ออกแบบขึ้น โดยเมื่อเลือกโหมดนี้แอปพลิเคชันจะทำการส่งคำสั่งเลือกโหมด 0 ขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์สามารถอ่านค่าได้

โหมดที่ 2 โหมดแมนนวล (Manual) คือการเปิด-ปิดน้ำโดยอ้างอิงข้อมูลจากปุ่มกดบนหน้าจอแอปพลิเคชัน โดยเมื่อเลือกโหมดนี้แอปพลิเคชันจะทำการส่งคำสั่งเลือกโหมด 1 ขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ และเมื่อมีการกดปุ่ม ON หรือ OFF บนหน้าจอแอปพลิเคชันจะมีการส่งคำสั่งเปิด-ปิดขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ของโหนดโคออร์ดิเนเตอร์สามารถอ่านค่าได้ การทำงานของแอปพลิเคชันร่วมกับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.40 และหน้าจอของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.40 การทำงานของแอปพลิเคชันร่วมกับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์

Irrigation Control for Cassava Field



MODE

ON

OFF

EXIT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ และการออกแบบฮาร์ดแวร์โหนดขับโซลินอยด์แล้ว โดยรวมถึงอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ใช้ในการทำงานของระบบที่ออกแบบขึ้นและวิธีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ดังกล่าว การออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดเร้าเตอร์ การออกแบบซอฟต์แวร์โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ การออกแบบซอฟต์แวร์ชุดขับโซลินอยด์แล้ว และการออกแบบตัวควบคุมด้วยพีซีสำหรับโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ ซึ่งแสดงในลักษณะของแผนผังการเขียนโปรแกรมและตัวอย่างการเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรม Matlab Simulink นอกจากนั้นยังกล่าวถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการจ่ายน้ำผ่านสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์อีกด้วย ในบทถัดไปจะนำเสนอการทดสอบระบบเพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบต่อไป



บทที่ 4

ผลการวิจัย

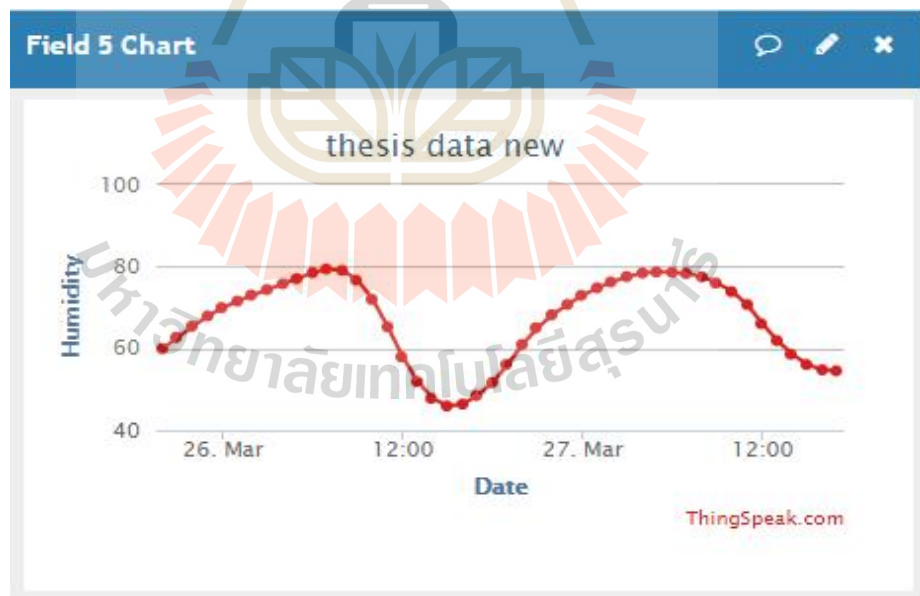
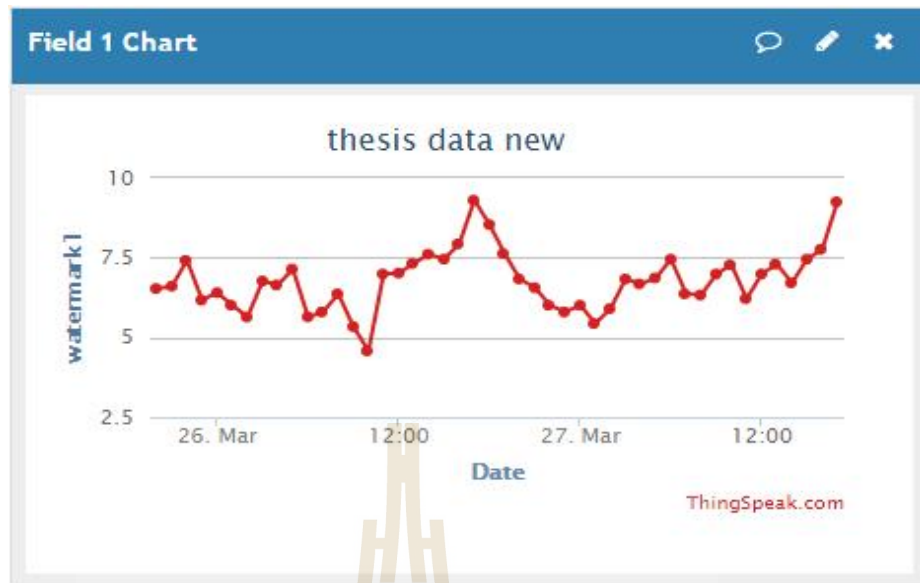
4.1 บทนำ

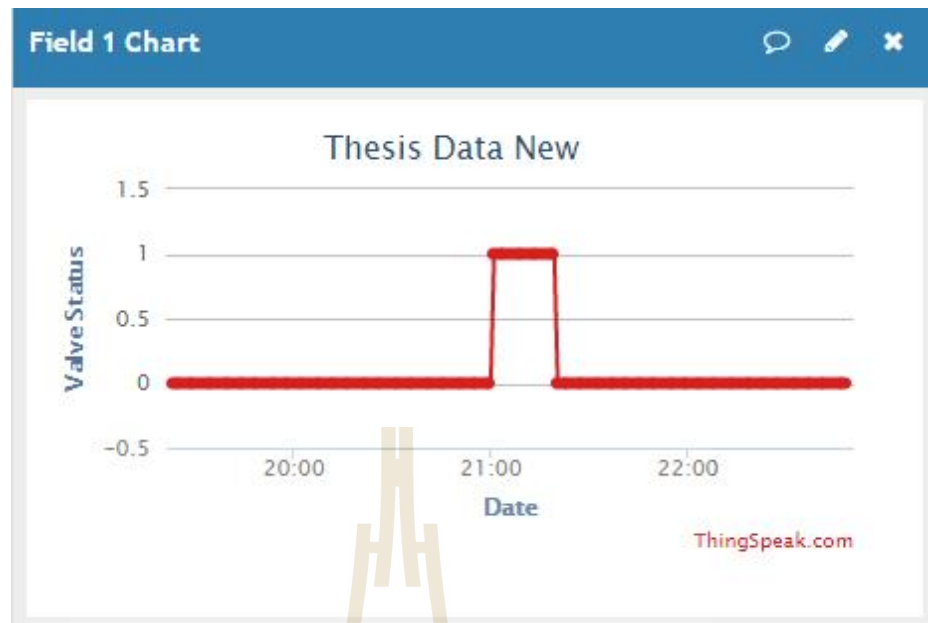
บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบต่างๆ ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้ในบทก่อนหน้า โดยเนื้อหาในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ส่วนแรกคือบทนำ ส่วนที่สองคือการทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อให้สามารถเฝ้าระวังและตรวจสอบระบบแบบออนไลน์ได้ ส่วนที่สามคือการทดสอบโหนดขับโซลินอยด์แล้วโดยการทดลองเปิดแล้วด้วยระบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนที่สี่เป็นการทดสอบระบบการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก ส่วนที่ห้าคือการคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งานในการทดสอบระบบ และส่วนสุดท้ายคือสรุป

4.2 การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

วิธีการเก็บข้อมูลในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อความสะดวกในการเฝ้าระวังและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบออนไลน์ โดยผู้วิจัยเลือกใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com ซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีเสถียรภาพและมีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้อีกด้วยซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบข้อมูล และเมื่อต้องการวิเคราะห์ข้อมูลระบบแบบออนไลน์คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ดังกล่าวก็มีฟังก์ชันสำหรับนำข้อมูลออกไปให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล xls ซึ่งสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมอื่นๆเช่น Microsoft Excel หรือ Matlab เป็นต้น

จากการทดลองส่งข้อมูลเซ็นเซอร์ขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com เป็นระยะเวลา 6 เดือนผลการทดลองพบว่าสามารถส่งข้อมูลขึ้นเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง โดยสามารถแสดงผลในรูปแบบกราฟข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 นอกจากนั้นสามารถนำข้อมูลออกเป็นไฟล์นามสกุล xls ดังแสดงในรูปที่ 4.4





feeds (3) - Excel

	A	B	C	D	E	F
3113	2017-03-18 2	3112	34.14	16.8	44	1.00
3114	2017-03-18 2	3113	34.14	16.8	44	1.00
3115	2017-03-18 2	3114	34.14	16.8	44	1.00
3116	2017-03-18 2	3115	34.14	16.8	44	1.00
3117	2017-03-18 2	3116	34.14	16.8	44	1.00
3118	2017-03-18 2	3117	34.14	16.8	44	1.00
3119	2017-03-18 2	3118	34.14	16.8	44	1.00
3120	2017-03-18 2	3119	34.14	16.8	44	1.00
3121	2017-03-18 2	3120	34.14	16.8	44	1.00
3122	2017-03-18 2	3121	34.14	16.8	44	1.00

4.3 การทดสอบโหนดขับโซลินอยด์วาล์ว

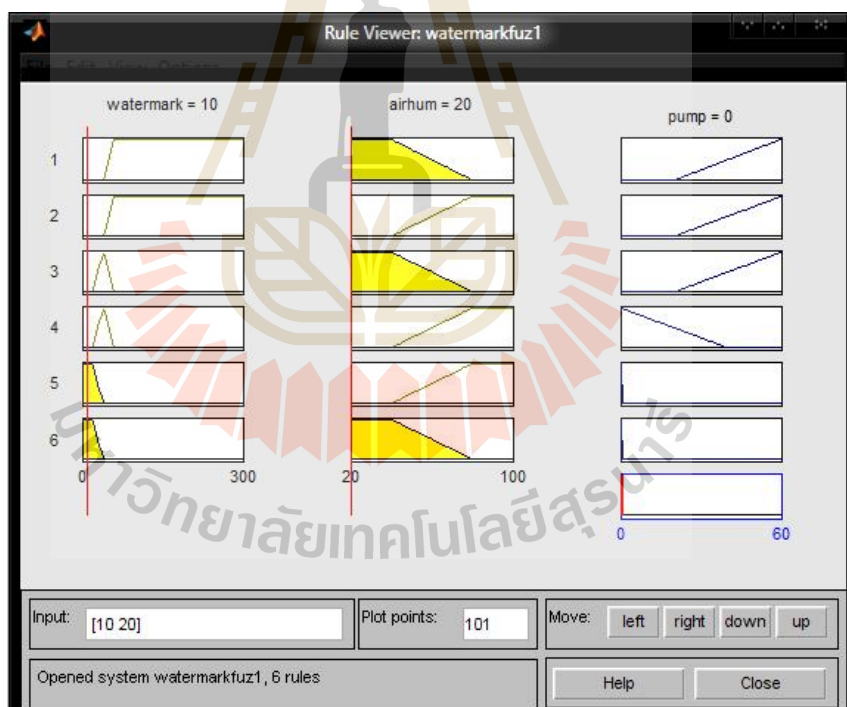
โซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือรุ่น Hunter PGV 203 โดยมีพิกัดทางกลคือขนาดท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกเท่ากับ 2 นิ้ว แรงดันน้ำที่สามารถใช้งานได้คือช่วงแรงดันน้ำขนาด 1.4 ถึง 10.3 บาร์ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 66 องศาเซลเซียส และมีพิกัดทางไฟฟ้าคือใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 24 โวลต์ โดยเมื่อทำการเปิดน้ำโซลินอยด์วาล์วกินกระแสเท่ากับ 370 มิลลิแอมป์

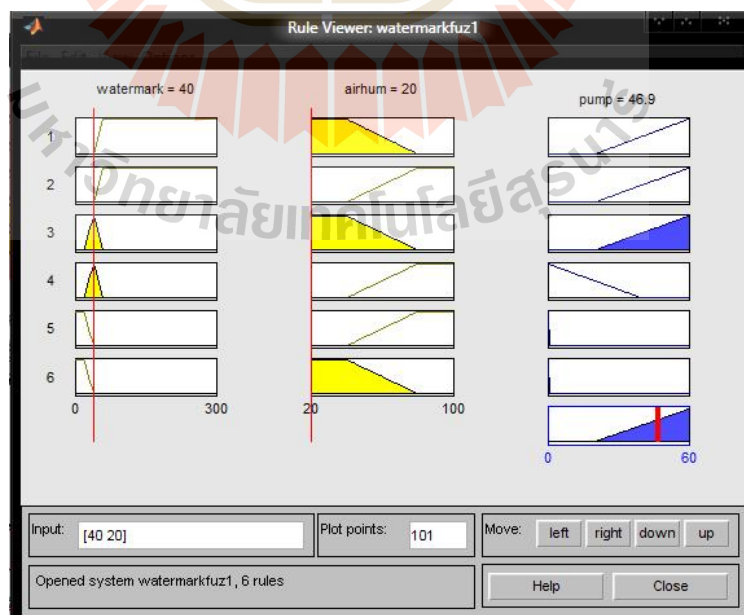
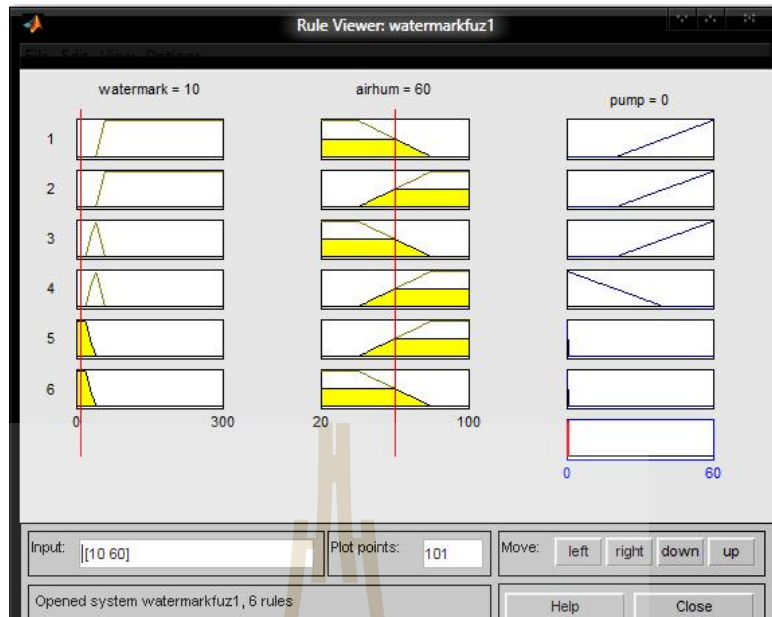
การทดสอบโหนดขับโซลินอยด์วาล์วจะเริ่มจากการจำลองโหนดโคออร์ดิเนเตอร์เพื่อส่งคำสั่งเปิด-ปิดวาล์วผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยการส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่าน Xbee ไปยังโหนดขับโซลินอยด์วาล์ว จากนั้นทำการเปิดปั๊มน้ำเพื่อทดสอบว่าโหนดขับโซลินอยด์วาล์วที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถขับโซลินอยด์วาล์วได้หรือไม่โดยสังเกตผลจากน้ำที่ไหลออกจากท่อเข้าสู่แปลงปลูกมันสำปะหลังและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1 โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้งและใช้เวลาห่างกันประมาณ 10-15 นาที

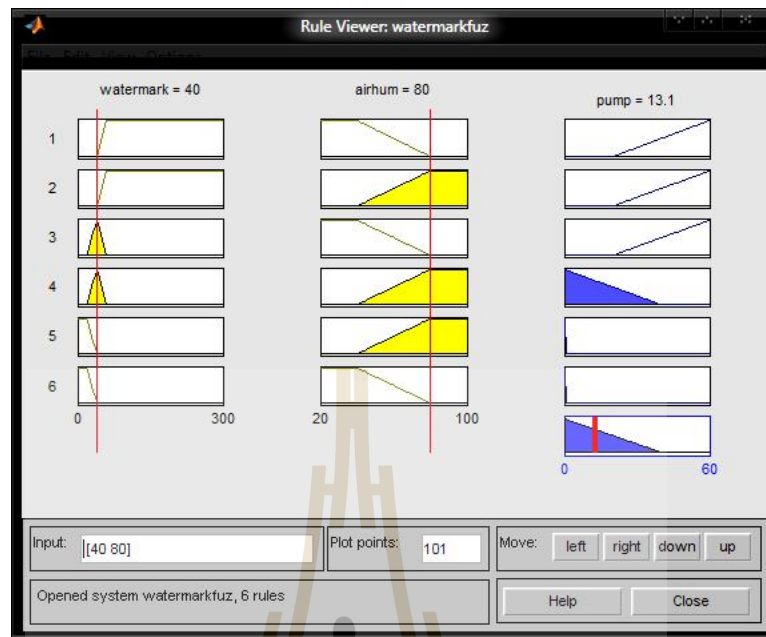
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบโหนดขับโซลินอยด์วาล์ว

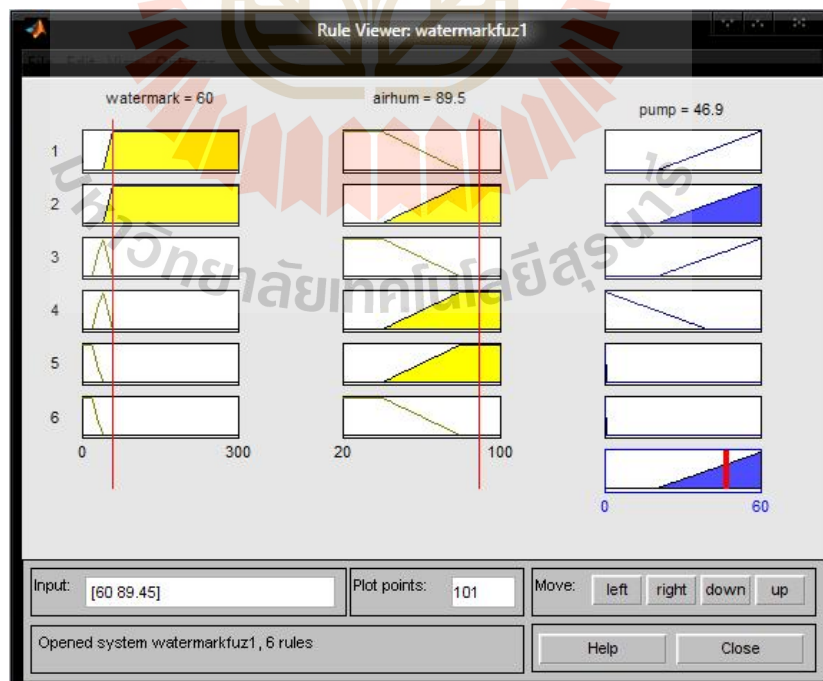
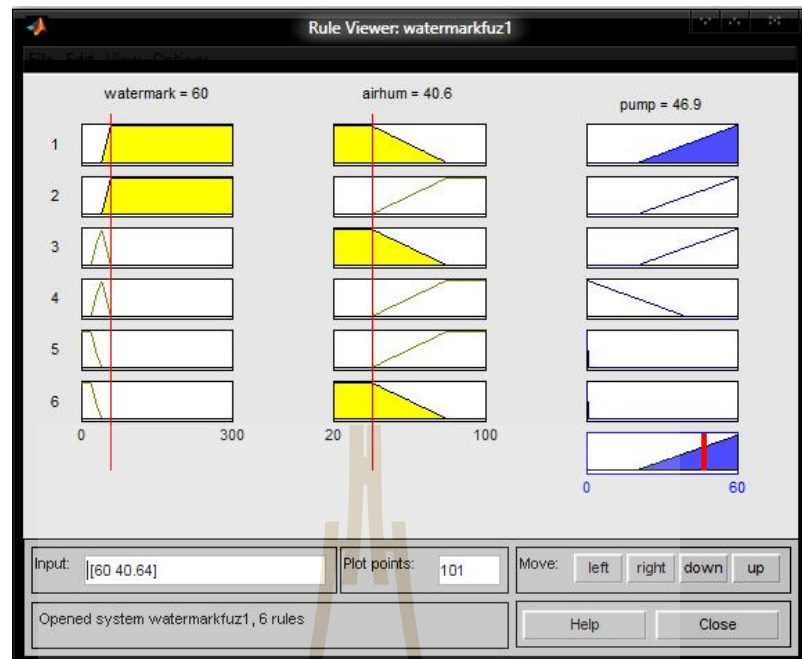
ครั้งที่	ทดสอบเปิดวาล์ว	ทดสอบปิดวาล์ว
1	✓	✓
2	✓	✓
3	✓	✓
4	✓	✓
5	✓	✓
6	✓	✓
7	✓	✓
8	✓	✓
9	✓	✓
10	✓	✓

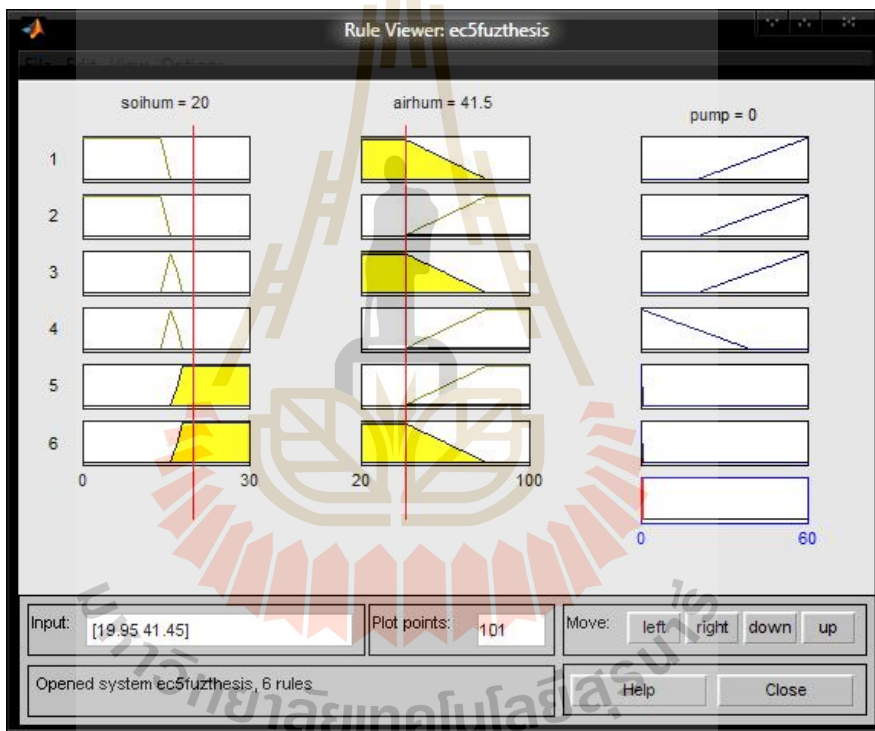
ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทดลอง 10 ครั้ง โหนดขับโซลินอยด์วาล์วสามารถทำงานได้ทั้ง 10 ครั้งซึ่งคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 100

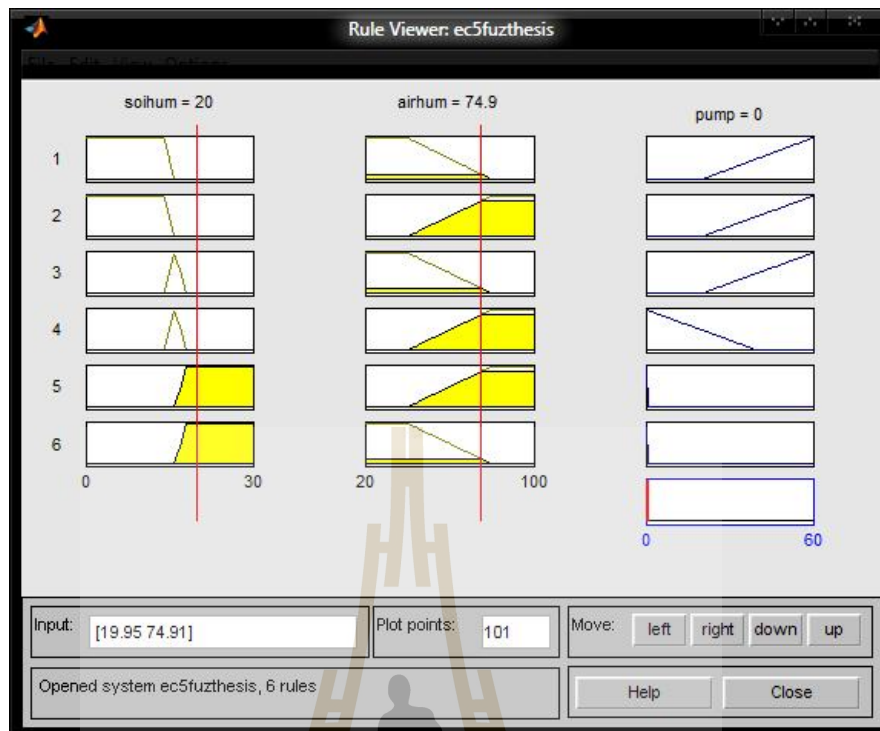




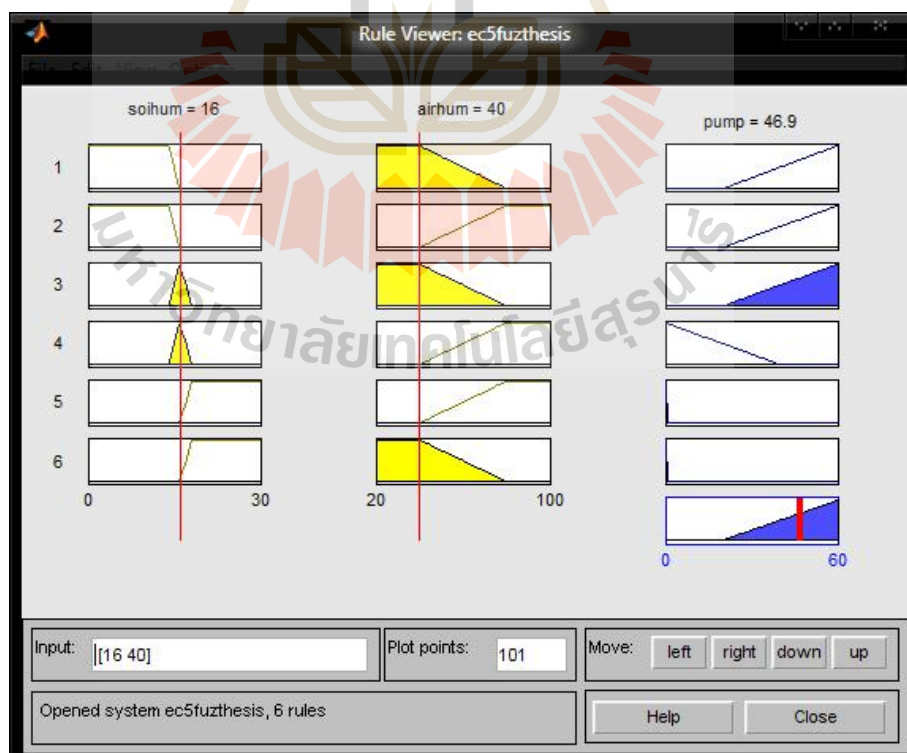
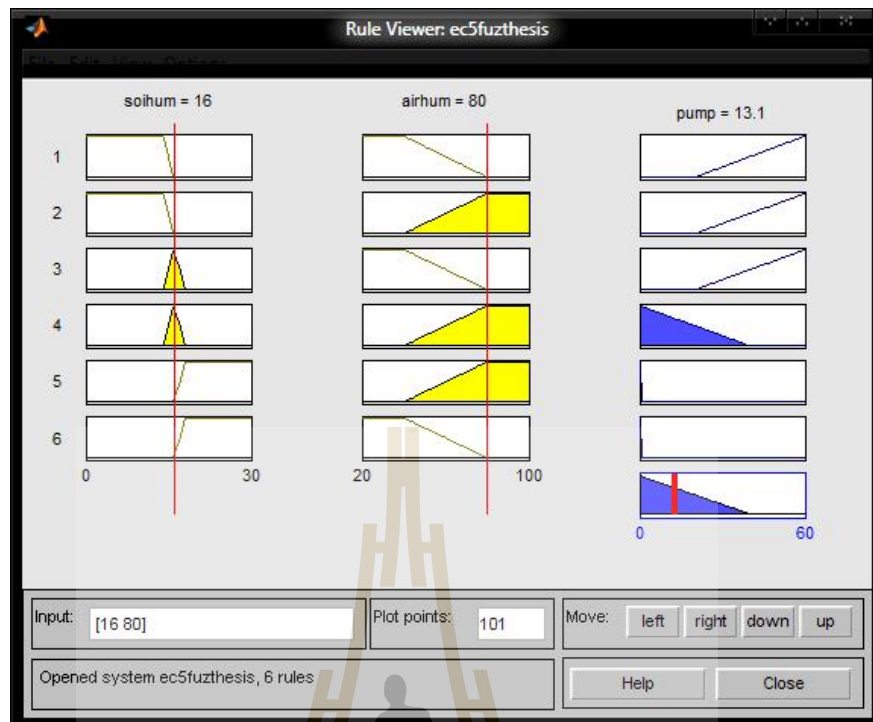


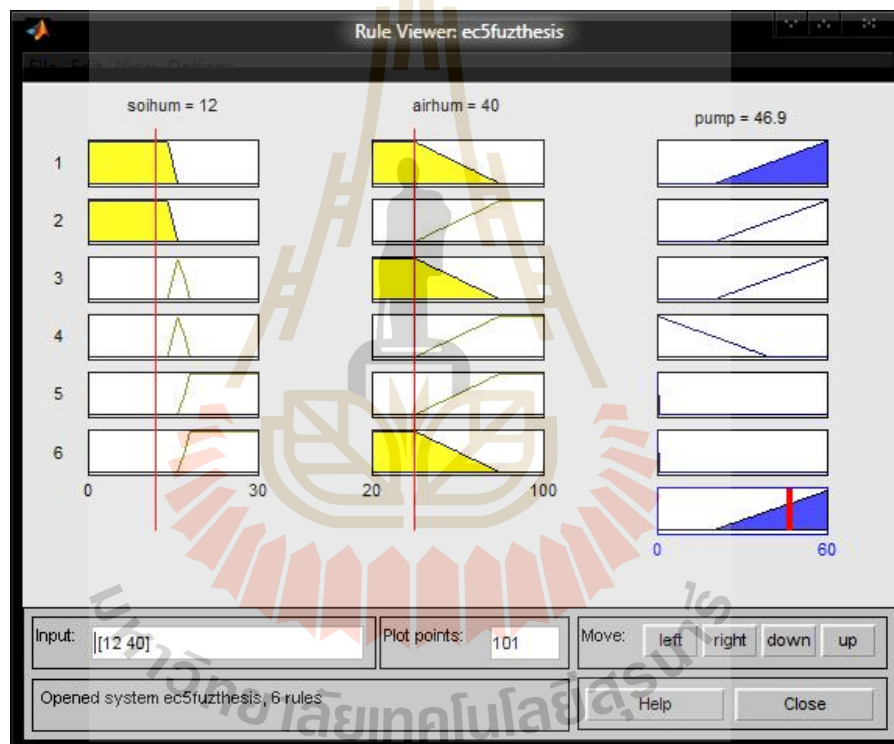


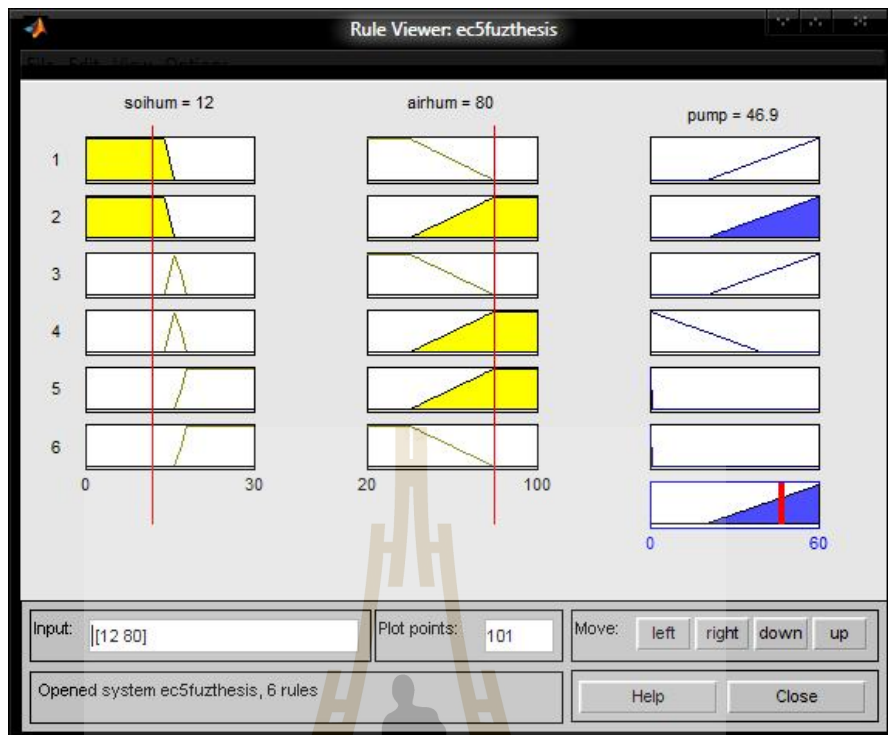




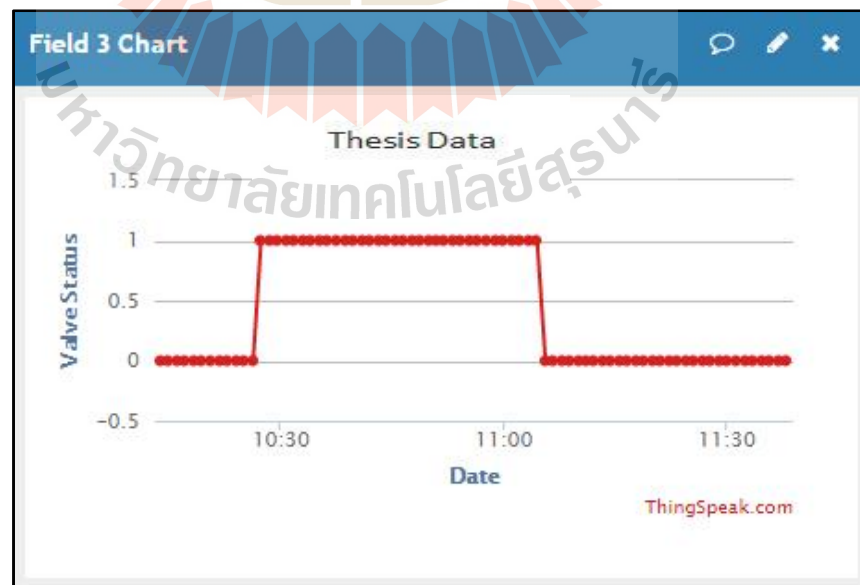
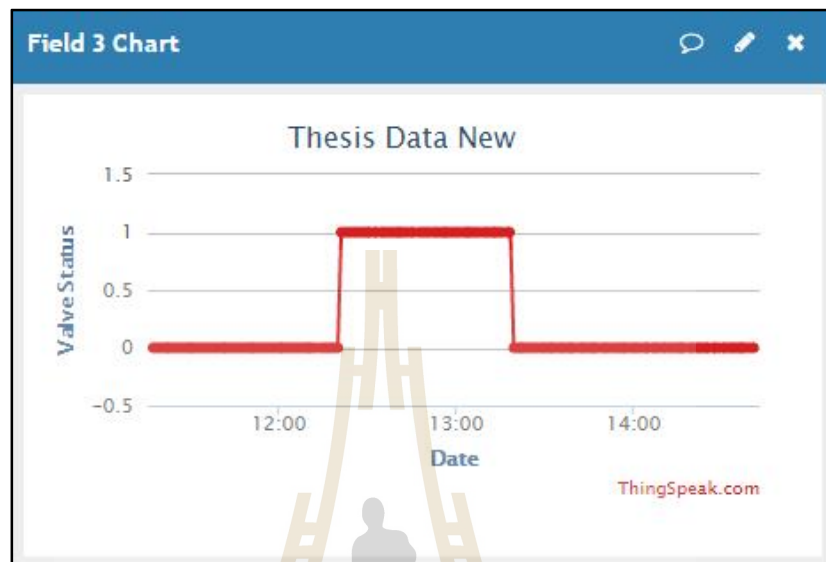
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

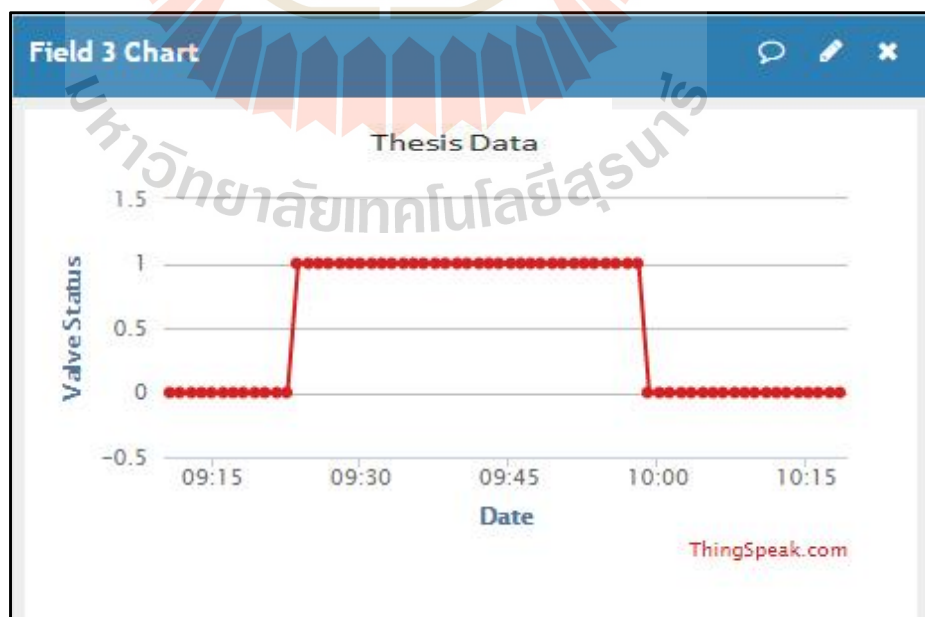
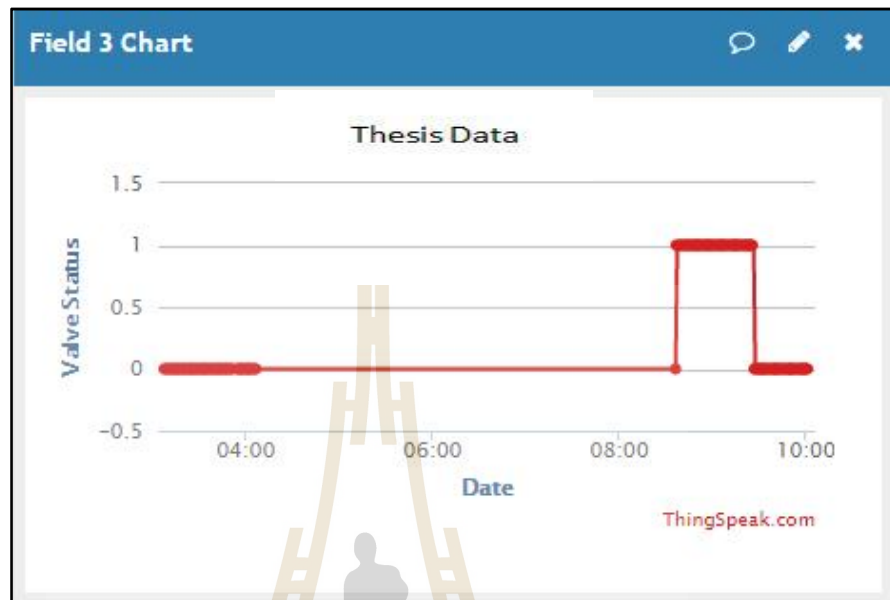


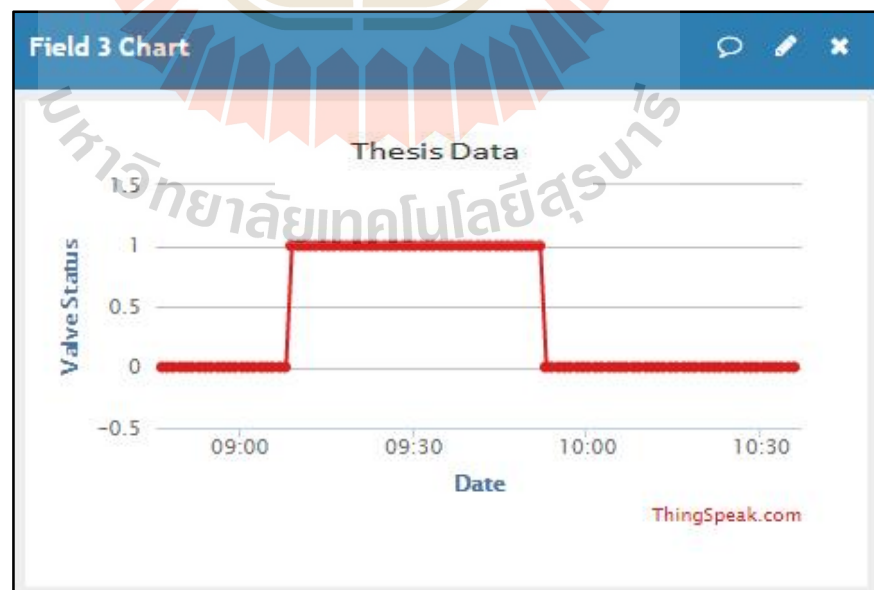
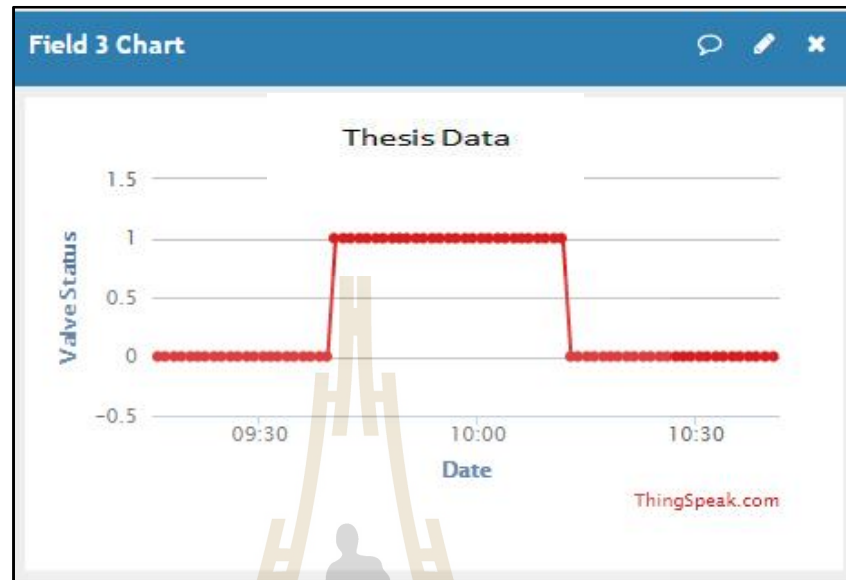




มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







ระยะเวลารวมในการเปิดน้ำตลอดระยะเวลา 2 สัปดาห์เท่ากับ 253 นาที หรือ 4 ชั่วโมง 13 นาที ซึ่งคำนวณเป็นจำนวนชั่วโมงต่อเดือนประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองให้น้ำแก่แปลงปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซี

การให้น้ำ ครั้งที่	ระยะเวลาการให้น้ำ (นาที)	ศักย์ของน้ำในดิน ก่อนให้น้ำ (Kpa)	ศักย์ของน้ำในดิน หลังให้น้ำ (Kpa)	ค่าความชื้น สัมพัทธ์ใน อากาศก่อนให้ น้ำ (%)
1	57	34.14	8.54	42.30
2	37	26.10	9.64	38.50
3	30	27.50	11.28	32.40
4	36	26.34	10.82	31.50
5	31	26.60	11.28	37.80
6	42	30.26	8.04	38.00

ค่าดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า โดยการคำนวณดังกล่าวมีค่าคงที่สำหรับการคำนวณดังต่อไปนี้

1. พื้นที่แปลงทดลองขนาด 78 เมตร × 9.6 เมตร (0.47 ไร่)
2. ค่ากำลังไฟฟ้าของปั้มน้ำ 750 วัตต์
3. อัตราการจ่ายน้ำสูงสุดของปั้มน้ำ 7,200 ลิตรต่อชั่วโมง
4. อัตราการจ่ายน้ำของหัวน้ำหยด 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง
5. ระยะห่างระหว่างแถวปลูก 2.5 เมตร
6. ระยะห่างของหัวจ่ายน้ำของเทปน้ำหยด 30 เซนติเมตร

4.5 การคำนวณปริมาณทรัพยากรที่ใช้งาน

4.5.1 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบน้ำหยดของโครงการวิจัย

- 1.) จำนวนจำนวนหัวน้ำหยดในแปลงทดลองขนาด 78 เมตร × 9.6 เมตร ดังนี้
ปลูกมัน 1 แถวความยาว 78 เมตร ระยะห่างของหัวน้ำหยดเท่ากับ 30 เซนติเมตร

ดังนั้นจำนวนหัวน้ำหยดต่อ 1 แถวจะเท่ากับ $\frac{7,800}{30} = 260$ หัวน้ำหยด

ปลูกมันทั้งหมด 8 แถวซึ่งจะมีหัวน้ำหยดเท่ากับ $260 \times 8 = 2,080$ หัวน้ำหยด

2.) คำนวณอัตราการใช้น้ำต่อชั่วโมง ดังนี้

มีหัวน้ำหยดเท่ากับ 2,080 หัวน้ำหยด

อัตราการจ่ายน้ำต่อ 1 หัวน้ำหยดเท่ากับ 2.5 ลิตรต่อชั่วโมง

ดังนั้นอัตราการใช้น้ำเท่ากับ $2,080 \times 2.5 = 5,200$ ลิตรต่อชั่วโมง

3.) คำนวณอัตราการใช้น้ำต่อเดือน ดังนี้

อัตราการใช้น้ำเท่ากับ 5,200 ลิตรต่อชั่วโมง

ใน 1 เดือนเปิดน้ำประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที

ดังนั้นอัตราการใช้น้ำเท่ากับ $5,200 \times 8.5 = 44,200$ ลิตรต่อเดือน

จากการคำนวณพบว่า ปริมาณการให้น้ำในแปลงทดลองขนาดพื้นที่ 0.47 ไร่โดยเฉลี่ยเท่ากับเดือนละ 44,200 ลิตร

4.5.2 การคำนวณปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า

คำนวณหาจำนวนหน่วย (ยูนิท) ของกระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในหนึ่งเดือน ดังนี้
พิกัดของปั้มน้ำเท่ากับ 750 วัตต์ และเปิดปั้มน้ำเป็นเวลา 8.5 ชั่วโมงต่อเดือน

$$\text{จำนวนหน่วย (ยูนิท)} = \left(\frac{750 \times 1}{1,000} \right) \times 8.5 = 6.375 \text{ หน่วยต่อเดือน}$$

ผลการติดตั้งระบบจริงในพื้นที่แปลงทดลองของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้อุปกรณ์ปั้มน้ำจากสระน้ำที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณเพาะปลูก และทำการเก็บข้อมูลการทดลองเป็นจำนวน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำข้อมูลการให้น้ำไปคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนพบว่าการใช้น้ำเฉลี่ยเดือนละ 44,200 ลิตร และใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 6.375 หน่วย โดยจากข้อมูลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำและกระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถคำนวณค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าโดยประมาณของการใช้น้ำและการใช้กระแสไฟฟ้าในแปลงทดลอง

ระยะเวลาในการปลูก (เดือน)	ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (หน่วย)
10	442,000	63.75
11	486,200	70.13
12	530,400	76.5
13	574,600	82.88

ในการประมาณค่าอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าและอัตราการใช้น้ำในพื้นที่เพาะปลูกขนาดต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากพื้นที่เพาะปลูกในแปลงทดลองที่มีขนาด 9.6 เมตร × 78 เมตร หรือเท่ากับ 748.8 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็น 47 เปอร์เซ็นต์ของ 1 ไร่ ดังนั้นถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 1 ไร่ หรือเท่ากับ 1,600 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 11,063 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 94,042 ลิตรต่อเดือน โดยจะไม่สามารถใช้ปั้มน้ำพิกัดเดียวกับแปลงทดลองได้เนื่องจากอัตราการสูบน้ำสูงสุดของปั้มเท่ากับ 7,200 ลิตรต่อชั่วโมง จึงต้องใช้ปั้มน้ำที่มีพิกัดมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะคำนวณด้วยปั้มน้ำขนาด 1 HP แรงดัน 220 โวลต์ อัตราการไหล 15,000 ลิตรต่อชั่วโมง ไซมูเตอร์ ขนาด 750 วัตต์ซึ่งมีพิกัดทางไฟฟ้าเท่ากับพิกัดที่ใช้ในพื้นที่ทดลองจึงทำให้มีอัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับพื้นที่ทดลอง (ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าเท่ากันแต่มีอัตราการจ่ายน้ำที่สูงกว่าจะมีราคาสูงกว่า)

ถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 5 ไร่ หรือเท่ากับ 8,000 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 55,315 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 470,177 ลิตรต่อเดือน ซึ่งจะต้องเพิ่มจำนวนของปั้มขึ้นเป็น 4 ปั้ม (หรือใช้ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าและทางกลที่มากขึ้น) เพื่อให้ได้อัตราการการสูบน้ำสูงสุด 60,000 ลิตรต่อชั่วโมง จึงจะเพียงพอต่อการใช้งานและจากการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนจะเท่ากับ 25.5 หน่วย

ถ้าติดตั้งระบบในพื้นที่ 10 ไร่ หรือเท่ากับ 16,000 ตารางเมตร จะใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นเป็น 110,630 ลิตรต่อชั่วโมงหรือ 940,355 ลิตรต่อเดือน ซึ่งจะต้องเพิ่มจำนวนของปั้มขึ้นเป็น 8 ปั้ม (หรือใช้ปั้มน้ำที่มีพิกัดทางไฟฟ้าและทางกลที่มากขึ้น) เพื่อให้ได้อัตราการการสูบน้ำสูงสุด 120,000 ลิตรต่อชั่วโมง จึงจะเพียงพอต่อการใช้งานและจากการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนจะเท่ากับ 51 หน่วย โดยสามารถสรุปการประมาณค่าอัตราค่าการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อัตราการใช้น้ำในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ขนาดต่างๆ

ขนาดของพื้นที่	ระยะเวลาในการปลูก		
	10 เดือน	11 เดือน	12 เดือน
0.47 ไร่ (9.6x78 ตารางเมตร)	442,000 ลิตร	486,200 ลิตร	530,400 ลิตร
1 ไร่ (1,600 ตารางเมตร)	940,420 ลิตร	1,034,462 ลิตร	1,128,504 ลิตร
5 ไร่ (ตารางเมตร)	4,701,770 ลิตร	5,171,947 ลิตร	5,642,124 ลิตร
10ไร่ (ตารางเมตร)	9,403,550 ลิตร	10,343,905 ลิตร	11,284,260 ลิตร

4.5.3 การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังโดยวิธีการทางสถิติ

วิธีการให้น้ำแก่พืชโดยวิธีการทางสถิติจะใช้วิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration) หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียดังกล่าวจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย การคายน้ำ และการระเหยซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 [19]

$$ET = K_c \times ET_p \quad (4.1)$$

เมื่อ

ET = ค่าการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

K_c = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient)

ET_p = ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน พืชชนิดเดียวกันอาจมีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำต่างกันได้ในขึ้นอยู่กับอายุของพืชชนิดนั้นๆ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลังซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลของกรมวิชาการเกษตรแสดงดังตารางที่ 4.5 [19]

ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของต้นไม้สำหรับแต่ละช่วงอายุ

อายุ (เดือน)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_c	0.30	0.40	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	0.60	0.50	0.30

การหาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ET_p สามารถทำการคำนวณได้โดยอาศัยข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยของกรมอุตุนิยมวิทยากระทรวงคมนาคมซึ่งค่า ET_p ของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมาที่คำนวณไว้แล้วแสดงดังตารางที่ 4.6 [19]

ตารางที่ 4.6 การใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

เดือน	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
ET_p	3.62	3.86	4.96	5.25	5.61	5.1	5.03	4.71	4.32	4.4	4.1	4.05

การคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของต้นไม้สำหรับในช่วงระยะเวลาการทดลองช่วงเวลาในการทดลองให้น้ำแก่ต้นไม้สำหรับคือเดือนเมษายน พ.ศ. 2560 และในขณะที่ทดลองต้นไม้มีอายุประมาณ 2 เดือน ดังนั้น จากตารางที่ 4.4 จะได้ K_c เท่ากับ 0.40 , ET_p เท่ากับ 5.61 มม. ต่อวัน และจากสมการที่ 4.1 ; $ET = K_c \times ET_p = 0.40 \times 5.61 = 2.244$ มม. ต่อวัน ซึ่งปริมาณความต้องการน้ำของต้นไม้สำหรับใน 1 เดือนจะเท่ากับ $2.244 \text{ มม.} \times 30 = 67.32 \text{ มม.}$ ดังนั้นต้องใช้ปริมาณน้ำทั้งหมดต่อ 1 ไร่ เท่ากับ

$$1 \text{ ไร่} \times 1600 \text{ ม.}^2 \times \frac{67.32 \text{ มม.}}{1000 \text{ มม./ม.}}$$

เท่ากับ 107.7 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน หรือ 107,700 ลิตรต่อเดือนซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้น้ำของระบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่พบว่าระบบที่ออกแบบขึ้นใช้น้ำในการเพาะปลูกน้อยกว่าการให้น้ำด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติประมาณ 13,658 ลิตร ซึ่งสามารถประหยัดได้ถึงร้อยละ 12.68 ในพื้นที่เพาะปลูกขนาด 1 ไร่

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบระบบทั้งหมดที่ออกแบบขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ การทดสอบเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ จากผลการทดสอบพบว่าระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถตรวจวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน ค่าความชื้นในดิน และค่าความชื้นในอากาศจากแปลงทดลองเพาะปลูกมันสำปะหลังรวมถึงการส่งข้อมูลดังกล่าวขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์พร้อมทั้งแสดงผลในรูปแบบของกราฟข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและถูกต้อง และในการทดสอบการทำงานของโหนดขับโซลินอยด์ว่าลั่วพบว่า ในการทดลองเปิดวาล์วน้ำจำนวน 10 ครั้ง และปิดวาล์วน้ำจำนวน 10 ครั้ง การทดลองมีร้อยละของความสำเร็จเท่ากับ 100 การทดสอบจำลองการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซพบว่าจากการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟังก์ชันและเงื่อนไขในการทำฟัซซีตามคำแนะนำของนักวิชาการทางการเกษตร ส่งผลให้ได้เอาต์พุตที่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี และจากการทดสอบติดตั้งระบบในแปลงทดลองพบว่า ระบบสามารถคำนวณและตัดสินใจเปิดน้ำเพื่อจ่ายให้แก่แปลงทดลองได้จริง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบระบบที่ออกแบบขึ้นกับปริมาณน้ำจากวิธีการคำนวณทางสถิติเพื่อหาความต้องการน้ำของมันสำปะหลังจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาพบว่าระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นสามารถประหยัดน้ำได้ถึงร้อยละ 12.68 ในพื้นที่เพาะปลูกขนาด 1 ไร่

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัว และพีซีลอจิกในการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติโดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ จากนั้นได้ทำการทดสอบและติดตั้งในพื้นที่แปลงเพาะปลูกมันสำปะหลัง บริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการควบคุม ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้นผู้วิจัยได้เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สายผ่านโมดูล XBee ย่านความถี่ 2.4 GHz ตัวเครือข่ายไร้สายแบบเมช (Mesh network) เนื่องจากอุปกรณ์ที่เป็นโหนดเราท์เตอร์ (Router) ซึ่งเป็นโหนดย่อยในการตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยตรงหรือจะสื่อสารผ่านโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ (Coordinator) หรือโหนดหลักก็ได้ และถ้าหากโหนดเราท์เตอร์ไม่สามารถติดต่อผ่านกันได้โดยตรงก็ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านอีกเส้นทางหนึ่งเพื่อเชื่อมโยงผ่านไปยังโหนดที่ต้องการสื่อสารได้ ซึ่งการเชื่อมต่อลักษณะนี้สามารถป้องกันข้อผิดพลาดในการสื่อสารของระบบได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบหลักของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้นมีดังนี้

โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ทำหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลัง และทำการประมวลผลด้วยตัวควบคุมแบบพีซีลอจิกเพื่อตัดสินใจในการให้น้ำแก่มันสำปะหลัง นอกจากนี้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ยังทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลขึ้นสู่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อการความแม่นยำของข้อมูลและเพื่อง่ายต่อการจัดการข้อมูลเนื่องจากสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟิก และสามารถนำข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้หลากหลายรูปแบบ

ในส่วนของการส่งข้อมูลจากการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังเข้าฐานข้อมูลซึ่งอยู่บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ www.thingspeak.com ผู้วิจัยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU เป็นอุปกรณ์หลักในการสื่อสารผ่านโมดูลกระจายสัญญาณอินเตอร์เน็ตไร้สาย

โหนดเร้าเตอร์เป็นโหนดตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่ที่ในบริเวณแปลงเพาะปลูกโดยตรง ทำหน้าที่ในการอ่านค่าสัญญาณการตรวจวัดจากเซ็นเซอร์แบบต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดค่าศักย์ของน้ำในดินและเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในอากาศ เพื่อรวบรวมส่งผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายมายังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์สำหรับการประมวลผลโดยตัวควบคุมแบบพีซีต่อไป

5.1.2 การออกแบบระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

การควบคุมระบบการให้น้ำอัตโนมัติ ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่มีประสิทธิภาพสูงและมีทรัพยากรที่มากเพียงพอในการประมวลผลสัญญาณรวมถึงการควบคุมและการสั่งการทั้งในด้านการติดต่อสื่อสารกับโหนดย่อยต่าง ๆ และการทำงานในด้านอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้โหนดโคออร์ดิเนเตอร์ดังกล่าวสามารถทำการควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32TM ARM 32-bits CortexTM M3 ซึ่งอยู่บนบอร์ด STM32F4 Discovery และสามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ได้เป็นอย่างดี ระบบสมองกลฝังตัวดังกล่าว มีการใช้งานที่ค่อนข้างง่ายโดยเฉพาะในด้านการเขียนและการพัฒนาโปรแกรมในเชิงกราฟิก (Graphical programming) โดยสามารถทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการในการตัดสินใจให้น้ำแก่แปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังด้วยตัวควบคุมแบบพีซี ลอจิกโดยมีอินพุตเป็นค่าสภาพแวดล้อมในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังที่วัดจากเซ็นเซอร์ ซึ่งมี 2 อินพุตคือ ค่าศักย์ของน้ำในดินหรือค่าความชื้นในดินที่บริเวณรากของมันสำปะหลัง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และระบบที่ออกแบบขึ้นจะคำนวณหาเอคต์พุต ในรูปของระยะเวลาในการให้น้ำแก่แปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังเพื่อนำไปควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์วในการให้น้ำแบบอัตโนมัติ

5.1.3 การติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งชุดต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติในพื้นที่การปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นแปลงทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีความกว้าง 9.6 เมตรและยาว 78 เมตร ในบริเวณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการติดตั้งโหนดเร้าเตอร์ซึ่งเป็นโหนดตรวจวัดค่าค่าสภาวะแวดล้อมในแปลงทดลองปลูกมันสำปะหลังจำนวน 3 ค่า ประกอบด้วย ค่าศักย์ของน้ำในดิน ค่าความชื้นในดิน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยังโหนดโคออร์ดิเนเตอร์ซึ่งเป็นโหนดหลัก จากนั้นจะทำการประมวลผลและตัดสินใจด้วยตัวควบคุมแบบพีซี และสั่งการให้ระบบควบคุมการจ่ายน้ำของท่อจ่ายตามสภาวะแวดล้อมในแปลงเกษตร โดยระบบดังกล่าวใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

จากผลการทดลองพบว่าชุดค้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยชุดค้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถตรวจวัดค่าสถานะแวดล้อมต่าง ๆ และส่งข้อมูลจากการตรวจวัดเข้าฐานข้อมูลคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อการรายงานผลได้อย่างถูกต้อง

ในการทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัตินั้นพบว่า ระบบสามารถควบคุมการให้น้ำได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม Matlab โดยจากการติดตั้งจริงและเก็บข้อมูลและจากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยพบว่า ในระยะเวลา 1 เดือน มีระยะเวลาของการให้น้ำประมาณ 8.5 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดประมาณ 44,200 ลิตร ซึ่งประหยัดกว่าการให้น้ำด้วยวิธีการคำนวณการให้น้ำทางสถิติร้อยละ 12.68

5.2 แนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.2.1 การออกแบบและพัฒนาเซ็นเซอร์เพื่อการตรวจวัดในทางเกษตรกรรมแทนการใช้เซ็นเซอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากโรงงาน จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้อย่างมาก

5.2.2 เปลี่ยนจากการใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปเช่นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4 Discovery เป็นวงจรที่ออกแบบขึ้นเองเพื่อลดขนาดวงจรให้ติดตั้งได้ง่าย รวมถึงลดต้นทุนและเหมาะสำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์

5.2.3 เพิ่มประสิทธิภาพของระบบฟัซซีลอจิกที่ออกแบบขึ้นโดยใช้ระบบอนุมานฟัซซีโครงข่ายปรับตัวได้ (ANFIS)

รายการอ้างอิง

Available from: <http://www.agriinfo.doae.go.th/>

Down to the last drop, UNESCO sources; Vol. 84, 1996.

N. Watthanawisuth, N. Tongrod, T. Kerdcharoen and A. Tuantranont, **“Real-Time Monitoring of GPS-Tracking Tractor Based on ZigBee Multi-Hop Mesh Network,”** In Proc. the Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology, Vol. 1, pp. 580-583, 2010.

N. Kimura and S. Latifi, **“A survey on data compression in wireless sensor networks,”** In Proc. the Information Technology: Coding and Computing, Vol. 2, pp:8 – 13, 2005.

A. Kulakov and D. Davcev, **“Intelligent Data Acquisition and Processing Using Wavelet Neural Networks,”** In Proc. IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Vol. 1, pp. 491-494, 2005.

F. J. Maldonado and J. A. Hernandez, **“Sensor Calibration by Neural Network in a Smart Wireless System,”** In Proc. the IEEE AUTOTESTCON, Vol. 1, pp. 573-577, 2006.

J. W. Barron, A. I. Moustapha, and R. R. Selmic, **“Real-Time Implementation of Fault Detection in Wireless Sensor Networks Using Neural Networks,”** In Proc. the Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, Vol. 1, pp. 378-383, 2008.

A. Goh, S. Craciun, S. Rao, D. Cheney, K. Gugel, J. C. Sanchez, J. C. Principe, **“Wireless transmission of neuronal recordings using a portable real-time discrimination/compression algorithm,”** In Proc. the 30th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society, pp:4439 – 4442, 2008.

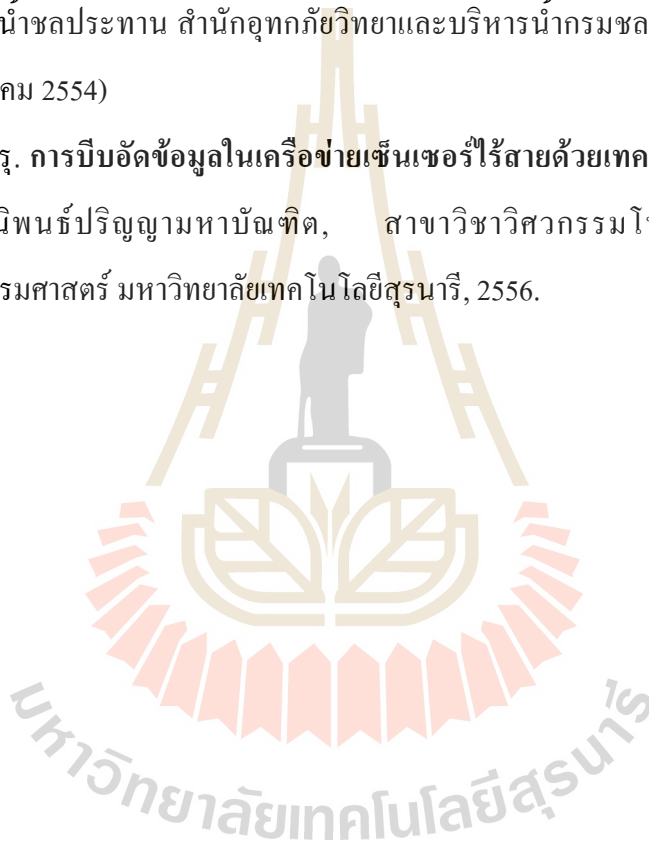
- X. Chen, K. Makki, K. Yen, and N. Pissinou, **"Sensor Network Security: A Survey,"** IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 2, 2009.
- J. Li, X. Zhu, N. Tang and J. Sui, **"Study on ZigBee Network Architecture and Routing Algorithm,"** In Proc. International Conference on Signal Processing Systems, Vol. 2, pp. 389-393, 2010.
- J. Wang, X. Lin, and K. Wu, **"ECG data compression research based on wavelet neural network,"** In Proc. the 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), Vol. 1, pp. 361 – 363, 2010.
- M. Nasri, A. Helali, H. Sghaier, and H. Maaref, **"Energy-efficient wavelet image compression in Wireless Sensor Network,"** In Proc. the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), pp. 1 – 7, 2010.
- R. V. Kulkarni and G. K. Venayagamoorthy, **"Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks: A Survey,"** IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 1, pp. 68-96, 2011.
- N. Mohsen, H. Abdelhamid, S. Halim and M. Hassen, **"Energy-Efficient Wavelet Image Compression in Wireless Sensor Network,"** In Proc. the Communication in Wireless Environments and Ubiquitous Systems: New Challenges (ICWUS), pp. 1 – 7, 2010.
- Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang, **"Design of Intelligent Control System of Crop Partial root-zone Alternative Irrigation,"** In. Proc. International Conference on Systems and Informatics, Vol. 1, pp. 397 – 399, May 2012.
- S. N. Singh, R. Jha, and M. Nandwana, **"Optimal Design of Solar Powered Fuzzy Control Irrigation System for Cultivation of Green Vegetable Plants in Rural India "** The 1st International Conference on Recent Advances in Information Technology, Vol. 1, pp. 877 - 882, March 2012.

S. Li, “Application of the Internet of Things Technology in Precision Agriculture Irrigation Systems” Proc. 2012 International Conference on Computer Science and Service System, Vol. 2, pp. 1009 – 1013, August 2012.

“หนังสือหลักการชลประทาน” บุญมา ป้านประดิษฐ์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

“คู่มือหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช” ส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกภัยวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (ฉบับปรับปรุง กรกฎาคม 2554)

นภาพร พิมปรุ. การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

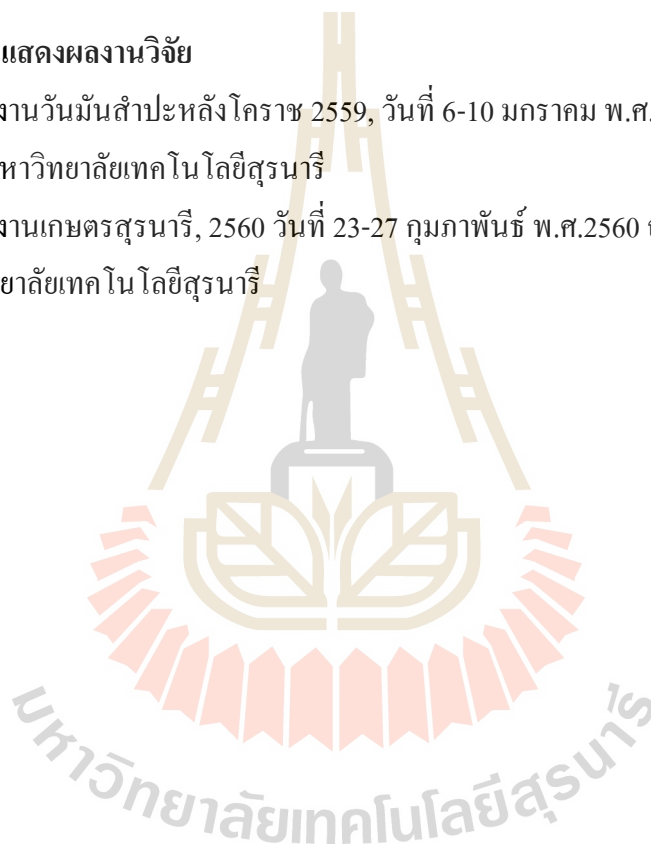
รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Teerapat Charoenpru, Tanasan Srikotrand, Prayoth Kumsawat, **“INTELLIGENT WATER-SAVING IRRIGATION SYSTEM FOR CASSAVA FIELD USING FUZZY CONTROLLER,”** In Proc. The 10th SEATUC symposium, February 23-24, 2016, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan.

รายชื่องานที่จัดแสดงผลงานวิจัย

งานวันมันสำปะหลังโคราช 2559, วันที่ 6-10 มกราคม พ.ศ.2559 ณ อาคารสุรพัฒน์ - 2 เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานเกษตรสุรนารี, 2560 วันที่ 23-27 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 ณ อาคารสุรพัฒน์ 2 เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



INTELLIGENT WATER-SAVING IRRIGATION SYSTEM FOR CASSAVA FIELD USING FUZZY CONTROLLER

Teerapat Charoenpru, Tanasan Srikotr and Prayoth Kumsawat

School of Electronics Engineering, Institute of Engineering

Suranaree University of Technology

teerapat_97@hotmail.com

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation work of an automated irrigation control system based on the ARM 32-bits CortexTM M3 microcontroller using fuzzy controller. This system uses soil humidity values in the plant root zone and relative humidity values in the air to control the amount of water to apply to the cassava field. We focus on fuzzy control technology to intelligent water-saving irrigation. Each sensor module was installed at router node and its sensory data was sent to coordinator node via wireless communication module which operates in the 2.4 GHz. This wireless sensor network was powered by solar cell module which is suitable for the remote farm area where a typical power supply is inconveniently available. After commissioning in the laboratory and the field, it is showed that an automated fuzzy irrigation control system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria.

1. INTRODUCTION

Cassava is considered one of the most important economic crops in Thailand, because this plant is resistant to drought and easy to grow even the soil is poor. In addition to be food the cassava can also be used in ethanol producing which is renewable energy as well. Then the cassava is widely popular plant for Thai farmers. In the past, most of the water problem in Thailand during the dry season is happening as a normal cycle, however, the climate change causes less precipitation. Therefore, the drought problem in Thailand is more frequent and severe combined with increasing of water requirement. Currently, wireless sensor network (WSN) play an important role in agriculture production. It has been widely used as a tool for precision agriculture. WSN enables farmers to efficiently use the pesticides, fertilizers and water. With the help of several types of sensors, a farmer can collect the information about the soil, water and other related factors and then can take any decision.

Therefore, to resolve the drought problem in cassava field, this paper presents the design and implementation work of an automated irrigation control system based on the microcontroller using fuzzy controller.

In previous work, W. Cheng, Q. Xiaojun, Z. Yunhe, Y. Chengbo L. Yanfei [1], proposed an improved design of ZigBee Wireless Sensor Network that the coordinator only deal with the task on the ZigBee network, the rest tasks will be processed by another processor. The processor connected with the Coordinator by RS-232 interface. All data information will be sent to the processor through the serial port. So the processor undertakes the task to deal with data, conserve the network information, and communicate with the host computer for protect the effect of bad real-time, data packet loss, and stability decrease from the coordinator carry too much load.

Application of the artificial intelligent has been utilized in different areas including wireless sensor network applications. X. Peng, G. Liu [2], proposed The system build on Fuzzy control and wireless sensor network for water saving irrigation for crop using 2 input parameters (soil humidity and air temperature) for Fuzzy controller and output of this system is time to watering for crop water demand. Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang [3], proposed the design of irrigation control system using the soil humidity of the root plant area at various depths for decide to watering. C. Wang, L. Wang, and J. Qin [4], propose the automated guided vehicle improved vision navigation with Fuzzy Control Algorithm. This navigation system combined the vehicle mechanism characters and the navigation deviation parameters obtained from image processing with the motion and control characteristics of the automated guided vehicle, the Fuzzy Control Algorithm is designed to navigate the automated guided vehicle moving along the road marking line.

1.1 Fuzzy Logic

Fuzzy logic is one of artificial intelligent witch can explain fuzzy or unclear variable by Fuzzy set theory to represent the ambiguity. Thus, the volume of the data detected by the wireless sensor network from farms. Including the collection of statistics such as input from the user represented by fuzzy variables steps of fuzzy (Fuzzification). Using fuzzy variables in the model variant for can using unclear data such as the information is obtained from the farms, Whether the sensor. Or from estimation to various applications (The distance between the nozzle drip), The water holding capacity of the soil, etc. Then, Fuzzy systems to estimate the output from the rule of the relationship between variables Fuzzy of these rules have been converted from the knowledge from expert in the field of irrigation water. The outputs of the inference rules will lead to defuzzy for the numerical value of the rate of irrigation valves. The diagram of intelligent water-saving irrigation system using Fuzzy logic controller is shown in Figure 1.

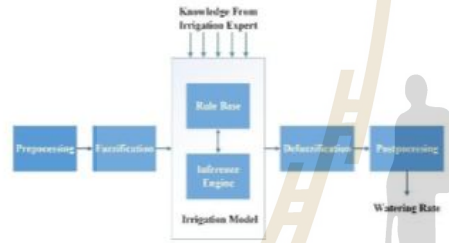


Fig. 1 Block diagram of Fuzzy control

2. EXPERIMENT

In this section, we first give a brief overview of the WSN embedded system architecture and Fuzzy logic controller. Then, the experimental results are shown. The conclusions of our study can be found in the last section.

2.1 Wireless sensor network experiment

Fig. 2 shows diagram of a wireless sensor network. The main microcontroller unit (MCU) of the WSN is the STM32F4 discovery board. It contains read only memory, random access memory, a 12 bit analog to digital convertor (ADC), a 12 bit digital to analog convertor (DAC), timer and few comparators. We have integrated sensors such as relative temperature and humidity sensor, light sensor, soil humidity sensor to the router node. This sensor is connected to the MCU through the I2C interface. Other analog sensors, such as soil humidity sensor and light sensor can be easily connected to the ADC interface of the MCU. The router node is powered by solar panel with 10.0 W. The RF module is ZigBee and takes responsibility of transferring data in the wireless networks. A high power integrated module which covers distance range up to 1.5 Km is suitable for farmland monitor. The coordinator node is connected with the GPRS module to send the data to the remote data center via the mobile network. The coordinator node is receive a

sensory data from the router node for determine water demand of cassava and send output signal to control pump.

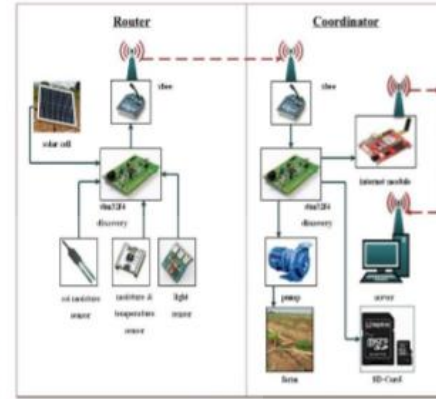


Fig. 2 Wireless sensors network diagram

In this experiment, we demonstrate the efficiency of this scheme under real-world applications with limited number of data samples. The four router nodes were deployed in a farmland environment at Suranaree University of Technology (SUT). The installation shown in Figure 3.



Fig. 3 Router node installation in SUT cassava field

2.2 Fuzzy logic controller experiment

In this work, Fuzzy controller embedded in the WSN coordinator node takes soil humidity values and relative air humidity values as its input and obtained water demand amount of cassava through fuzzy inference. Then, the fuzzy judge and output it to irrigation controller (the duration of pumping). We separate value of soil humidity to be a membership function of three set as dry (D), normal (N) and wet (W). The relative air humidity is separated as dry (D) and wet (W). Typically, Soil humidity stay in the range of fifteen to twenty percent and relative

air humidity stay in the range of twenty to seventy percent. After processing the output is shown in the form of time to on pump separate as short (S), long (L) and no operation (NOP). Therefore, the output time can calculate to volume of water in watering. Fuzzy controller diagram is shown in figure 4.

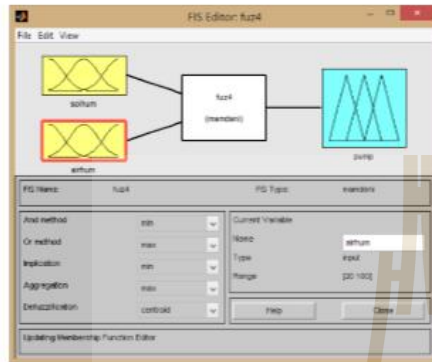


Fig. 4 Fuzzy controller diagram

This simulation base on Mamdani's fuzzy with sixth rule bases. All of rule base is shown in Table 1.

Table 1 Fuzzy control rule table.

Rule No.	Soil Humidity	Relative Air Humidity	Pump Time
1	Dry (D)	Dry (D)	Long (L)
2	Dry (D)	Wet (W)	Long (L)
3	Normal (N)	Dry (D)	Long (L)
4	Normal (N)	Wet (W)	Short (S)
5	Wet (W)	Dry (D)	No Operation (NOP)
6	Wet (W)	Wet (W)	No Operation (NOP)

In this work, the soil humidity is the most important parameters for irrigation controller. Therefore, the output will belong (L) when soil humidity is dry (D) and output is No Operation (NOP) when soil humidity is wet (W). However, If soil humidity is normal, the output is depend on relative air humidity.

3. RESULT

In this topic we mention the experiment as two parts too first is the wireless sensor network result another one is Fuzzy logic controller simulation result.

3.1 Wireless sensor network results

result is data from sixth router node that installed over test area size 9.6 x 78 square meter seen that almost sensors workable. More ever, this system has a data filtering program witch select the data that in the normal range only. Therefore, the data that out of range will

ignore. The soil humidity and the relative air humidity from the router node are shown in Figure 5.

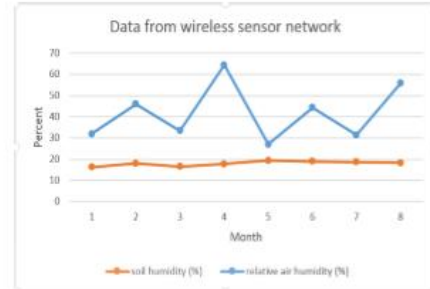


Fig. 5 Soil humidity and air humidity from router node

3.2 Fuzzy controller results

The computed data for the given conditions under case study of our project and the desired results have been validated with MATLAB Simulink. The 3-D surface of Fuzzy results is shown in Figure 6. This surface simply shows the mapping graphically between those two inputs and one output. It has been verified for all possible simulated value of the input variables.

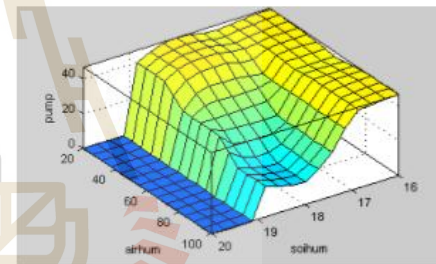


Fig. 6 All of the possible Fuzzy results

In this work, we build a simulator by using real-world inputs from farming area shown in Figure 7. As can be seen, the controller is operated with two inputs namely soil humidity and relative air humidity and one output variable i.e. the duration of pumping. The simulation results are shown in Table 2.

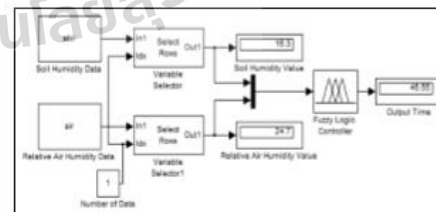


Fig. 7 Simulator with real inputs

Table 2 Real input Fuzzy controller result

Example No.	Soil Humidity (%)	Relative Air Humidity (%)	Pumping Time (minutes)
1	16.3 (D)	24.7	46.5 (L)
2	16.3 (D)	63.3	44.3 (L)
3	17.5 (N)	28.4	40.1 (L)
4	17.5 (N)	64.0	27.0 (S)
5	19.5 (W)	23.7	0.0 (NOP)
6	19.5 (W)	67.6	0.0 (NOP)

Table 3 Cassava field parameters

Parameters	Value
Size of area	750 square meters
Distance between row	2.5 meters
Distance between drip head	0.3 meters
Drip head flowrate	2.5 liters per hour
Amount of water	87 liters per minute

In case of example No.1 (Table 2), We can determine amount of water from $87 \times 46.5 = 4,045.5$ liters

CONCLUSION

This paper presents the design and implementation of water-saving irrigation control system using fuzzy controller. This system uses soil humidity value in the plant root zone and relative humidity value to control the amount of water to apply to the cassava field. Each sensor module was installed at router node and its sensory data was sent to coordinator node via wireless communication. This wireless sensor network was powered by solar cell module which is suitable for the remote farm area where a typical power supply is inconveniently available. After commissioning in the laboratory and the cassava field, it is showed that an automated fuzzy irrigation control system is stable and reliable and can fully meet the design goals and criteria. The completed system will be deployed and evaluate efficiency of water-saving in the future.

REFERENCES

- [1] W. Cheng, Q. Xiaojun, Z. Yunhe, Y. Chengbo L. Yanfei "An Improved Design of ZigBee Wireless Sensor Network" IEEE international conference on computer science and information technology, 2009.
- [2] X. Peng , G. Liu "Intelligent Water-saving Irrigation System Base on Fuzzy Control and Wireless Sensor Network" IEEE international conference on Digital Home (ICDH), 2012.
- [3] Y. Liu, L. Kong, B. Xu, T. Du, S. Hou, and S. Kang "Design of Intelligent Control System of Crop Partial root-zone Alternative Irrigation" IEEE international conference on systems and informatics (ICSAI), 2012.
- [4] C. Wang, L. Wang, and J. Qin "Development of a Vision Navigation System with Fuzzy Control Algorithm for Automated Guided Vehicle" IEEE international conference, 2015.



T. Charoenpru was born in Nakhon Ratchasima, Thailand. He received the B.Eng. degree in Electronics engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Electronics Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include wireless sensor networks and artificial intelligence.



T. Srikotr was born in Nakhon Ratchasima, Thailand. He received the B.Eng. degree in Telecommunication engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2014. He is currently working toward the M.Eng. degree in the School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. His research interests include digital signal processing, and wireless sensor networks



P. Kumsawat was born in Maehongson, Thailand. He received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Royal Thai Air Force Academy, Bangkok, Thailand, in 1994, the M.Eng. degree in electrical engineering from Kasetsart University, Bangkok, Thailand, in 1997 and Ph.D. degree in electrical engineering from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, in 2006. Since 1999, he has been with the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, where he is currently an Assistant Professor in the School of Telecommunication Engineering. His research interests include digital signal processing, image processing, artificial intelligence and embedded systems.

ประวัติผู้เขียน

นายธีระภัทร เจริญปฐ เกิดเมื่อวันที่ 6 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2534 ณ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมาในปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา 2557 ในขณะที่เรียนระดับปริญญาตรีได้มีความสนใจทางด้านระบบสมองกลฝังตัว เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ จึงได้เกิดแรงบันดาลใจที่จะศึกษาต่อในด้านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ความสามารถให้กับตนเองจึงได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากการทำการวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และความเข้าใจทางด้านระบบสมองกลฝังตัวและเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์เป็นอย่างดีและมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 1 เรื่อง

